

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARLISE TERESINHA MAUERWERK

EFEITO DO GLICEROL BRUTO SOBRE A BIOLOGIA ALIMENTAR DO JUNDIA

Rhamdia quelen (SILURIFORMES, HEPTAPTERIDAE)

CURITIBA

2021

MARLISE TERESINHA MAUERWERK

EFEITO DO GLICEROL BRUTO SOBRE A BIOLOGIA ALIMENTAR DO JUNDIÁ

Rhamdia quelen (SILURIFORMES, HEPTAPTERIDAE)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de Concentração em Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Meurer

Coorientadora: Profa. Dra. Lilian Dena dos Santos

CURITIBA

2021

Universidade Federal do Paraná. Sistema de Bibliotecas.
Biblioteca de Ciências Biológicas.
(Rosilei Vilas Boas – CRB/9-939).

Mauerwerk, Marlise Teresinha.

Efeito do glicerol bruto sobre a biologia alimentar do jundiá *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Heptapteridae). / Marlise Teresinha Mauerwerk. – Curitiba, 2021.

110 f. : il.

Orientador: Fábio Meurer.

Coorientadora: Lilian Dena dos Santos.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

1. Jundiá (Peixe) – Alimentação e rações. 2. Glicerina. 3. Piscicultura. 4. Sustentabilidade. I. Título. II. Meurer, Fábio. III. Santos, Lilian Dena dos. IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

CDD (20.ed.) 597.3



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOLOGIA -
40001016008P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MARLISE TERESINHA MAUERWERK** intitulada: **Efeito do glicerol bruto sobre a biologia alimentar do jundiá *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Heptapteridae)**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 01 de Março de 2021.

Assinatura Eletrônica

16/03/2021 09:53:55.0

FÁBIO MEURER

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

17/03/2021 09:36:44.0

LEDA MARIA SARAGIOTTO COLPINI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - SETOR
PALOTINA)

Assinatura Eletrônica

16/03/2021 15:07:05.0

ALINE DE MARCO VIOTT

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - CAMPUS
PALOTINA)

Assinatura Eletrônica

16/03/2021 10:07:00.0

MATEUS MATIUZZI DA COSTA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO
FRANCISCO)

Dedico esta tese à minha filha Kelly e os gêmeos Matheus e Mariana (*in memoriam*), meu
marido e meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida e por me guiar nessa jornada.

Ao meu marido, Fábio L. Schiessl e à minha filha Kelly C. M. Schiessl, por todo amor, parceria, apoio, dedicação, entendimento, paciência e auxílio durante a execução do trabalho.

Aos meus pais, irmãos e toda a família pelo apoio, auxílio e compreensão.

Ao meu orientador Fabio Meurer pelo convite, orientação, confiança, aprendizados e oportunidades de crescimento e evolução profissional e pessoal.

À minha coorientadora Lilian Dena dos Santos pelo auxílio e disponibilidade dos laboratórios de Qualidade de Água e Nutrição para a realização das análises.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, pela oportunidade e todo suporte, em especial a secretária do programa, Fabiane Rodrigues.

À professora Lilian Carolina Rosa da Silva pela disponibilização da estrutura experimental e laboratorial e pelo acompanhamento do trabalho.

Ao comitê de acompanhamento formado pelos professores Lilian Carolina Rosa da Silva, Nei Moreira e Rafael Balen, que me acompanharam desde o início desta jornada e enriqueceram o trabalho com dicas preciosas.

À pós-doutoranda Izabel Zadinelo por toda parceria, tempo dedicado, auxílio em todas as etapas experimentais, análises, escrita, amizade, e ao seu esposo Sidinei Spier.

Ao professor Rafael Balen pela análise estatística e auxílio.

Ao professor Robie Alan Bombardelli pela disponibilização do glicerol bruto.

À toda a equipe do Laboratório de Produção e Reprodução de Peixes (LAPERP) e do Lataq, em especial aos mestrandos Marcos César Zanella, Katsciane Rossato e Patrícia Dias; aos alunos de iniciação científica, João Rafael, Ramone, Gabriela, Leonardo, Otávio, Júlia e Crislaine; e a estagiária Jaciele Pereira, pela ajuda na rotina experimental, análises e finalização de experimentos.

À toda a equipe do Laboratório de Nutrição Animal, em especial a técnica do laboratório Rafaela Mocochinski Gonçalves, pelo auxílio nas análises.

À equipe do Laboratório Clínico do Hospital Veterinário da UFPR Palotina, em especial ao técnico de laboratório Pedro Argel Zadinelo Moreira, pela realização das análises sanguíneas.

Aos professores Aline de Marco Viott e Milton Rönnaau pelas dicas, disponibilidade de estrutura e auxílio nas análises histológicas.

À minha amiga Daniela Romani Bonotto pelo apoio, amizade e longas conversas nos momentos mais desafiantes.

Aos membros da banca examinadora.

À todos que auxiliaram, direta ou indiretamente, e tornaram possível a execução desse trabalho, minha eterna gratidão.

Foram quatro anos de dedicação, trabalho, superação, aprendizados e muitos ensinamentos. Foram quatro anos de altos e baixos, de momentos de empolgação e outros, de querer sumir, fugir, desistir, porém, aprendi que em todos esses momentos podemos e devemos encontrar algum aprendizado. Neste período, tive a oportunidade de conhecer diferentes pessoas que contribuíram imensamente comigo, aprendi que também posso e devo pedir ajuda, que sou mais forte, capaz e merecedora do que sempre imaginei...aprendi a olhar para dentro de mim, e ali encontrar tudo, simplesmente tudo que procurava do lado de fora...percebi o quanto sou abençoada por Deus e o quanto Ele está comigo em todos os momentos...olhei pra trás e pude perceber o quanto já caminhei e o quanto melhorei, cresci, servi e evolui...entendi o quanto tenho uma família abençoada, e o papel de cada um deles na minha vida...entendi porque muitos acontecimentos foram como deveriam ter sido e o quanto fui forte até agora...aceitei algumas partidas...superei diversas crenças que me limitavam...me desafiei...me diverti...percebi que tenho diversos anjos ao meu lado, que me fizeram rir, que me fizeram chorar também, mas que me estenderam a mão quando mais precisei...pude me inspirar e admirar meus mestres...pude me recolher e cuidar de mim e dos meus especiais, como nunca tinha feito antes...enfim, encontrar minha missão de vida e entender que estamos aonde devemos estar, com as pessoas certas, para andarmos em direção ao nosso real propósito e realização de nossos sonhos, além de entender e aceitar que muitos dirão que foi sorte.

Você ganha força, coragem e confiança através de cada experiência em que você realmente para e encara o medo de frente.

Eleanor Roosevelt

RESUMO

O aumento da demanda de alimentos pela população mundial levou à necessidade de se melhorar a eficiência produtiva de atividades agropecuárias. Neste contexto, a aquicultura tem contribuído mundialmente para produção de proteína animal, sendo apontada como a atividade agropecuária com maior desenvolvimento nos últimos anos, entretanto, práticas de produção aquícola sustentável, utilizando ingredientes alternativos que causem menor impacto ambiental e que diminuam custos de produção, são desejáveis. O glicerol bruto, um subproduto da produção do biodiesel, pode ser utilizado como ingrediente energético alternativo na fabricação de dietas para peixes. Neste sentido, o objetivo da presente tese foi avaliar o efeito da substituição do milho pelo glicerol bruto na dieta do jundiá (*Rhamdia quelen*) sobre o desempenho produtivo, composição química da carcaça e parâmetros sanguíneos, nas três fases de crescimento (alevino, juvenil e engorda). Foram realizados três experimentos, um para cada fase de crescimento, em um sistema de recirculação de água composto por 30 tanques de 1.000 litros cada, com delineamento inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos, sendo estes as dietas práticas com 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de substituição do milho pelo glicerol, e cinco repetições. Foram avaliados parâmetros de desempenho produtivo, bioquímica sanguínea e de composição química da carcaça e/ou filé dos animais. As médias de todos os parâmetros avaliados entre os tratamentos foram submetidas aos testes de homocedasticidade e de normalidade e, posteriormente, à análise de variância. Quando constatadas diferenças significativas entre as médias ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey e análise de regressão. Na fase de alevinos, a substituição do milho pelo glicerol em até 100% não afetou parâmetros morfométricos, desempenho zootécnico, e sobrevivência dos animais, ao contrário do que ocorreu com a taxa de glicose plasmática, que foi influenciada pela substituição ($p < 0,05$). Na fase de juvenil, a substituição do milho pelo glicerol influenciou significativamente ($p < 0,05$) os parâmetros de peso final, produção de tronco limpo e rendimento de carcaça sem cabeça, enquanto que a conversão alimentar aparente apresentou uma melhora linear ($p < 0,05$) e o fator de condição aumentou de maneira linear ($p < 0,05$) à medida que o glicerol substituiu o milho nas rações. Quanto a composição química da carcaça, a substituição do milho pelo glicerol proporcionou um aumento linear significativo ($p < 0,05$) sobre o extrato etéreo e umidade corporal, sendo um efeito positivo no primeiro parâmetro e negativo no segundo. No experimento com animais na fase de engorda, parâmetros morfométricos não foram influenciados ($p > 0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol, entretanto, o comprimento padrão apresentou melhora linear ($p < 0,05$) à medida que o glicerol substituiu o milho nas dietas. Já o rendimento do filé foi afetado ($p < 0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol, sendo que o tratamento de 80% de substituição apresentou o melhor rendimento. O glicerol bruto, é um alimento alternativo adequado como fonte energética para o jundiá em todas as fases de crescimento, pois pode substituir o milho em até 100% ou ser incluído em até 7,5% nas suas dietas, sem causar danos ao desenvolvimento e sua saúde dos animais, além de promover a melhora do desempenho produtivo, como rendimento de tronco limpo e filé.

Palavras-chave: Alimento alternativo; fonte energética; glicerina; piscicultura; sustentabilidade.

ABSTRACT

The increase in the demand for food by the world population led to the need to improve the productive efficiency of agricultural activities. In this context, aquaculture has contributed worldwide to the production of animal protein, being pointed out as the agricultural activity with the greatest development in recent years, however, sustainable aquaculture production practices, using alternative ingredients that cause less environmental impact and that decrease production costs, are desirable. Crude glycerol, a by-product of biodiesel production, can be used as an alternative energy ingredient in the manufacture of fish diets. In this sense, the objective of this thesis was to evaluate the effect of replacing corn with crude glycerol in the jundiá diet (*Rhamdia quelen*) on the productive performance, chemical composition of the carcass and blood parameters, in the three growth phases (fry, juvenile and fattening). Three experiments were carried out, one for each growth phase, in a water recirculation system composed of 30 tanks of 1,000 liters each, with a completely randomized design, composed of six treatments, these being the practical diets with 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% replacement of corn by glycerol, and five repetitions. Parameters of productive performance, blood biochemistry and chemical composition of the carcass and / or fillet of the animals were evaluated. The means of all parameters evaluated between treatments were subjected to tests of homoscedasticity and normality and, subsequently, to analysis of variance. When significant differences were found between the means ($p < 0.05$), the Tukey test and regression analysis were applied. In the fry phase, the replacement of corn by glycerol by up to 100% did not affect morphometric parameters, zootechnical performance, and animal survival, unlike what happened with the plasma glucose rate, which was influenced by the substitution ($p < 0.05$). In the juvenile phase, the replacement of corn by glycerol significantly influenced ($p < 0.05$) the parameters of final weight, clean log production and carcass yield without head, while the apparent feed conversion showed a linear improvement ($p < 0.05$) and the condition factor increased in a linear manner ($p < 0.05$) as glycerol replaced corn in diets. As for the chemical composition of the carcass, the replacement of corn by glycerol provided a significant linear increase ($p < 0.05$) over ether extract and body moisture, with a positive effect on the first parameter and a negative effect on the second. In the experiment with animals in the fattening phase, morphometric parameters were not influenced ($p > 0.05$) by the replacement of corn with glycerol, however, the standard length showed linear improvement ($p < 0.05$) as glycerol replaced the corn in the diets. The fillet yield was affected ($p < 0.05$) by the replacement of corn with glycerol, with the 80% substitution treatment showing the best yield. Crude glycerol is an alternative food suitable as an energy source for jundiá in all stages of growth, as it can replace corn by up to 100% or be included in up to 7.5% in their diets, without causing damage to development and their animal health, in addition to promoting an improvement in productive performance, such as clean trunk and fillet yield.

Keywords: Alternative food; energy source; glycerin; pisciculture; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

Figura 1. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre a conversão alimentar aparente.....	74
Figura 2. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre o fator de condição.....	74
Figura 3. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre os níveis plasmáticos de colesterol.....	78
Figura 4. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre a composição de extrato etéreo corporal.....	78
Figura 5. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre a umidade corporal.....	78

CAPÍTULO 4

Figura 1. Efeito da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre o comprimento padrão do jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	95
Figura 2. Efeito da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre a largura do jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	95
Figura 3. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre o índice hepatossomático de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	97
Figura 4. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre a eficiência alimentar de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	97
Figura 5. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre a taxa de eficiência proteica de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	97
Figura 6. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre os níveis sanguíneos de triglicerídeos de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	100

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Características das diferentes categorias de glicerol.....	33
Tabela 2. Elementos químicos presentes nas diferentes categorias de glicerol.....	34
Tabela 3. Coeficiente de digestibilidade aparente da energia e energia digestível de diferentes categorias de glicerol para algumas espécies de peixes.....	38
Tabela 4. Níveis utilizados e recomendados nas dietas das diferentes categorias de glicerol para algumas espécies de peixes, em relação ao desempenho zootécnico.....	41
Tabela 5. Glicose plasmática de diferentes espécies de peixes alimentados com dietas com níveis crescentes de glicerol.....	43

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição alimentar das dietas experimentais contendo níveis crescentes de glicerol, fornecidas para alevinos de jundiá.....	53
Tabela 2. Parâmetros morfométricos de alevinos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto	56
Tabela 3. Parâmetros de desempenho zootécnico de alevinos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.....	57
Tabela 4. Parâmetros sanguíneos de alevinos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.....	58

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Composição alimentar das dietas experimentais contendo níveis crescentes de glicerol, fornecidas para juvenis de jundiá.....	71
Tabela 2. Parâmetros morfométricos e de desempenho zootécnico de juvenis de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto.....	76
Tabela 3. Parâmetros sanguíneos e de composição química corporal de juvenis de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.....	77
Tabela 4. Composição química corporal de juvenis de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.....	77

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Formulação e composição proximal das dietas experimentais com diferentes níveis de substituição do milho pelo glicerol bruto.....	91
Tabela 2. Parâmetros físico químicos de qualidade de água mensurados durante o período experimental.....	92
Tabela 3. Parâmetros morfométricos de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto.....	94
Tabela 4. Parâmetros de desempenho zootécnico de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.....	96
Tabela 5. Parâmetros sanguíneos de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.....	99
Tabela 6. Composição química da carcaça de adultos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.....	101

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
1.1 Jundiá.....	17
1.2 Nutrição do jundiá.....	18
1.3 Glicerol.....	20
Referências.....	21
2 OBJETIVOS.....	27
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
3 CAPÍTULO 1: Uso do glicerol na nutrição de peixes: uma revisão.....	28
Resumo.....	29
1. Introdução.....	29
2. Características e composição química do glicerol.....	30
3. Formulação e fabricação de dietas com glicerol para peixes.....	31
3.1 Metabolismo do glicerol em peixes.....	35
3.2 Uso do glicerol como fonte de energia para peixes.....	37
3.3 Níveis de inclusão do glicerol na dieta de peixes.....	39
3.4 Inclusão de glicerol na dieta e sua influência sobre a glicose plasmática.....	42
4. Conclusões.....	44
Referências.....	44
4 CAPÍTULO 2: Efeito do glicerol na alimentação de alevinos de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>): parâmetros morfométricos, zootécnicos e sanguíneos.....	49
Resumo.....	50
1. Introdução.....	50
2. Material e métodos.....	52
3. Resultados.....	56
4. Discussão.....	59
Agradecimentos.....	61
Referências.....	61
5 CAPÍTULO 3: Desempenho produtivo, composição corporal e parâmetros sanguíneos de juvenis de jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) alimentados com ração contendo glicerol bruto em substituição ao milho.....	67
Resumo.....	68

1. Introdução.....	68
2. Material e métodos.....	70
2.1 Desenho experimental, composição da dieta e qualidade de água.....	70
2.2 Avaliação do desempenho produtivo, análise de sangue e composição química da carcaça.....	72
2.3 Análise estatística.....	73
3. Resultados.....	73
4. Discussão.....	79
5. Conclusão.....	81
Agradecimentos.....	82
Referências.....	82
6 CAPÍTULO 4: A glicerina derivada da fabricação do biodiesel pode substituir o milho na dieta do jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>) na fase de engorda.....	87
Resumo.....	88
1. Introdução.....	88
2. Material e métodos.....	90
3. Resultados.....	93
4. Discussão.....	102
5. Conclusão.....	104
Agradecimentos.....	104
Referências.....	105
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109

1 INTRODUÇÃO GERAL

Devido a exponencial demanda de alimentos pela população mundial, surge a necessidade de se melhorar a eficiência produtiva de atividades pecuárias e agrícolas. Neste contexto, a piscicultura tem contribuído efetivamente na produção animal brasileira, pois é apontada como a atividade agropecuária com maior desenvolvimento nos últimos anos (MPA, 2011).

A agricultura brasileira passou por importantes transformações desde a década de 1960. Políticas públicas foram responsáveis pela construção de um ambiente institucional favorável à inovação e à adaptação de conhecimento e de tecnologia (Vieira Filho e Fishlow, 2017), e o resultado foi o aumento vertiginoso da produção agropecuária (Schulter e Vieira Filho, 2017). De acordo com estes autores, o crescimento da população mundial, a preocupação com a segurança alimentar e o interesse cada vez mais intenso em relação à sustentabilidade ambiental estão entre os principais desafios a serem enfrentados pelos países para as próximas décadas.

Conforme projeção da FAO (2017), estima-se que a população mundial seja de 9 bilhões de pessoas no ano de 2050, e para alimentar este crescente número de indivíduos, a produção anual de carnes deverá aumentar em mais de 200 milhões de toneladas. Nesse panorama, espera-se o posicionamento do Brasil, um dos principais agentes no mercado internacional de carnes, junto com a China, a União Europeia e os Estados Unidos, não somente na produção de carnes bovina, suína e de frango, mas também na produção de pescado.

A produção mundial de peixe atingiu cerca de 171 milhões de toneladas em 2016, com a aquicultura representando 47% do total. Visto que a captura através da pesca está relativamente estática desde o final dos anos 80, a aquicultura tem sido responsável pelo crescimento impressionante e contínuo da oferta de peixe para consumo humano. A aquicultura continua crescendo mais rapidamente que outras grandes produções de alimento, embora essa taxa não seja tão elevada como nas décadas de 1980 e 1990 (11,3 e 10,0 % respectivamente). O crescimento anual médio diminuiu para 5,8% no período de 2000-2016, embora o crescimento de dois dígitos ainda ocorra em pequeno número de países, especialmente na África de 2006 a 2010 (FAO, 2018).

Estima-se que a produção global de peixe atingiu 179 milhões de toneladas em 2018, das quais 156 milhões foram destinadas para o consumo humano, equivalendo a 20,5 kg de

consumo *per capita*, enquanto que as 22 milhões de toneladas restantes foram destinadas para uso não alimentar, como produção de farinha e óleo de peixe. Do montante da produção mundial, a aquicultura correspondeu a 46% da produção total e 52% da produção destinada para o consumo humano, sendo que o consumo global de pescado teve aumento médio anual de 3,1% (1961 a 2017), taxa superior ao de todas as outras fontes proteicas animais (carne, laticínios, leite, entre outros), que aumentou em 2,1% ao ano (FAO, 2020).

O Brasil destaca-se pelo recente crescimento da produção aquícola devido a um cenário promissor. Segundo Kubitz (2015), apesar de o país ser um grande produtor de frango, bovinos e suínos, a aquicultura foi o setor de carnes que apresentou maior incremento percentual em produção entre 2004 e 2014, com crescimento anual médio de quase 8%, contra 5,1% para bovinos, 4,1% para o frango e 2,9% para suínos. Embora a produção brasileira de pescado baseia-se em espécies exóticas como as carpas e tilápias (MPA, 2012), a grande diversidade de espécies nativas aponta novas possibilidades para a piscicultura brasileira.

Naylor et al. (2009) ressaltaram que o aumento na produção de peixes onívoros é uma tendência, já que se adaptam mais facilmente à substituição de fontes proteicas de origem animal por aquelas de origem vegetal, as quais refletem em menor custo de produção, garantindo homogeneidade e fornecimento contínuo dos nutrientes à piscicultura. Dentre elas, o jundiá é uma espécie promissora, apresentando boas taxas de sobrevivência, rápido crescimento e desenvolvimento (Melo et al., 2016), aceita bem as rações formuladas com os mais diversos ingredientes (Barcellos et al., 2004), consegue ingerir dieta formulada desde o início da alimentação exógena (Borges Neto et al., 2013), apresentando grande potencial para cultivo no sul do Brasil, Argentina e Uruguai (Salhi e Bessonart, 2011), uma vez que continua a se alimentar e ganhar peso mesmo em baixas temperaturas durante os meses de inverno (Signor et al., 2013).

Nos últimos anos, houve um aumento na demanda pelo jundiá cultivado (Rossato et al., 2018), devido à sua carne saborosa e ausência de espinhas intramusculares (Baldisserotto et al., 2010). Entretanto, estudos sobre a nutrição e o manejo alimentar dessa espécie ainda são escassos e são fundamentais para consolidar seu cultivo em cativeiro (Fabregat et al., 2016; Santos e Meurer, 2018).

Aliado ao aumento da produção de organismos aquáticos está a crescente demanda por rações aquícolas de qualidade que atendam às exigências nutricionais dos peixes e permitam o aumento na produtividade de espécies de valor econômico, com menor impacto ambiental (Silva et al., 2007). Além dos principais insumos utilizados na alimentação animal

geralmente serem *commodities* agrícolas, que possuem o preço regulado pela inconstante oferta e demanda global, são ainda comumente disputados no mercado para outros fins, tais como alimentação humana e produção de biocombustíveis (Costa, 2015).

Consequentemente, a utilização de alimentos não convencionais ou mesmo resíduos e subprodutos agroindustriais para substituir ingredientes convencionais nas dietas de animais vem sendo bastante estudada e busca satisfazer as necessidades nutricionais das espécies e contribuir para a economia do sistema produtivo (Ashade e Osineye, 2013).

1.1 Jundiá

A família Heptapteridae representa um dos maiores grupos de *catfishes* neotropicais e é composto por 150 a 200 espécies válidas, distribuídas do norte da Argentina até o sul do México (Bockmann e Guazzelli, 2003). A espécie *Rhamdia quelen* é distribuída do sul do México ao rio da Prata, na Argentina. É um dos mais importantes peixes neotropicais euritróficos, vivendo em pequenos riachos, lagos e rios maiores, abrigando-se da luz, durante o dia, embaixo de troncos de madeiras e pedras (Menezes et al., 2007). Parece ser o mais conspicuo em águas tranquilas (Barreto e Aranha, 2005).

Seu comportamento sugere um modo de vida bentônico e um amplo espectro de alimentação, alimentando-se de pequenos animais terrestres e aquáticos, insetos, crustáceos, plantas e peixes (Casatti et al., 2001; Casatti e Castro, 2006) e sendo um predador oportunista bentônico, obtendo o alimento sem remover o substrato. De acordo com Schulz e Leuchtenberger (2006), os indivíduos vivem a cerca de 2 metros de profundidade e são mais ativos durante o início da manhã e no final da tarde, evitando temperaturas inferiores a 18 °C.

Houve um aumento na demanda pelo jundiá cultivado (Rossato et al., 2018), devido à sua carne saborosa e ausência de espinhas intramusculares (Baldisserotto et al., 2010). Para atender aos padrões e demandas de consumo da população humana, o jundiá está sendo cada vez mais vendido na forma de filés, que utiliza de 30 a 40% deste peixe. Os resíduos restantes deste tipo de processamento podem ser utilizados na fabricação de farinhas de peixe, promovendo uma aquicultura mais sustentável (Rossato et al., 2018).

Dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA, 2011) mostram que a produção brasileira de jundiá em cativeiro cresceu de 911 toneladas em 2008 para 1.274,3 toneladas em 2010, um aumento de 40% no cultivo da espécie. No estado de Santa Catarina foram produzidas cerca de 740 toneladas em 2015, o que representa 1,9% da produção do Estado

(Júnior et al., 2015). Em âmbito nacional, os dados oficiais mais atuais revelam produção de 1.747 toneladas em 2010 (MPA, 2011).

O jundiá é uma espécie promissora, principalmente na região sul do Brasil, onde o clima limita o cultivo de muitas espécies (Baldisserotto et al., 2010). Este gênero aceita alimentação artificial desde a eclosão, apresentando boas taxas de sobrevivência, rápido crescimento e desenvolvimento, entretanto existe pouca informação sobre o metabolismo de espécies do gênero *Rhamdia* (Melo et al., 2016). Além disso, o jundiá aceita bem as rações formuladas com os mais diversos ingredientes (Lazzari et al., 2006), entretanto, estudos sobre a nutrição e o manejo alimentar dessa espécie são fundamentais para consolidar seu cultivo em cativeiro (Fabregat et al., 2016).

1.2 Nutrição do jundiá

O desempenho produtivo dos animais é utilizado como base nos estudos sobre exigências nutricionais, e pouco se sabe sobre a influência de determinadas dietas em variáveis metabólicas. Alterações metabólicas podem auxiliar na compreensão da dinâmica digestiva de nutrientes das dietas e na capacidade dos peixes frente às diferentes condições alimentares (Lundstedt; Melo; Moraes, 2004; Melo et al., 2006). No entanto, sabe-se que a exigência proteica do jundiá está diretamente relacionado aos níveis de energia, uma vez que esta espécie possui alta capacidade de transformar proteína em energia (Signor et al., 2004).

Os níveis de energia ou proteína exigidos pelas espécies parecem variar de acordo com uma compilação de vários parâmetros, como faixa de peso, fase de desenvolvimento, tipo de respostas avaliadas, taxas de alimentação e dietas empregadas (Freitas, 2015). De forma geral, o jundiá digere melhor os ingredientes ricos em proteína bruta (glúten de milho, farelo de soja e farinha de resíduo de peixe) que os energéticos (milho e quirera de arroz) (Oliveira Filho e Fracalossi, 2006).

Devido a seu hábito alimentar onívoro, o jundiá é uma das espécies que aceita dietas artificiais com fontes proteicas de origem vegetal, sendo o farelo de soja o mais utilizado (Coldebella; Radünz Neto, 2002; Refstie et al., 2010). Essa espécie exige adequado manejo alimentar desde os primeiros dias de vida (Radünz Neto, 2004). Entretanto, Lazarri et al. (2006) afirmam ser necessária a inclusão de pelo menos uma fonte de origem animal associada a fontes proteicas vegetais na dieta do jundiá, devido à exigência desta espécie quanto à qualidade da proteína da dieta. Entretanto, Bombardelli et al., (2015) afirmaram que

fêmeas de jundiá podem crescer e reproduzir adequadamente quando alimentadas com rações a base de farelo de soja e milho.

O jundiá apresenta valores de digestibilidade aparente de ingredientes proteicos de origem vegetal, como o farelo de soja, canola, girassol, glúten de milho e glúten de trigo superior a 82%, o que denota a boa capacidade de digestão destes ingredientes. A utilização de ingredientes de origem vegetal na formulação de rações para peixes é importante, principalmente em países como o Brasil, que tem alta produção destes insumos. Da mesma maneira, o jundiá apresenta bons valores de digestibilidade de ingredientes de origem animal (Freitas, 2015; Bergamin et al., 2013; Oliveira Filho e Fracalossi, 2006).

Os lipídeos representam um grupo heterogêneo e seu metabolismo é fundamental para a saúde, sobrevivência e sucesso das populações de peixes (Adams, 1998). As funções dessas moléculas no crescimento dos peixes estão bem definidas: energética, estrutural, hormonal, precursores de eicosanoides, entre outras (Haliloglu et al., 2004; Leonard et al., 2004). O uso de fontes lipídicas nas dietas para peixes é uma importante fonte de ácidos graxos essenciais, que influenciam a presença desses ácidos graxos no corpo do peixe (Rodrigues et al., 2016).

Diferentes fontes lipídicas (óleo de soja, óleo de girassol, óleo de tilápia, óleo de canola e óleo de oliva) podem ser utilizadas na alimentação de juvenis de jundiá sem que ocorram prejuízos sobre o desempenho produtivo. O glicerol bruto, pode ser utilizado como ingrediente energético para esta espécie por apresentar boa digestibilidade e alto conteúdo de energia digestível, mesmo quando comparados à energia de ingredientes comuns, como o milho e o trigo (Balén et. al., 2014).

A boa capacidade digestiva de ingredientes de origem vegetal e animal corrobora com a afirmação que esta espécie é onívora, bem como facilita a formulação de rações. Quanto maior o número de alimentos que podem ser utilizados na formulação de rações para uma determinada espécie de peixes, maior a possibilidade de se produzir rações mais baratas que, por sua vez, possibilitam a sustentabilidade da cadeia produtiva desta espécie. Neste sentido, a utilização do glicerol bruto derivado da produção de biodiesel na dieta do jundiá deve ser levada em consideração.

1.3 Glicerol

O glicerol bruto é o principal subproduto da indústria de biodiesel, sendo obtidos cerca de 10 kg de glicerina para cada 100 kg de biodiesel produzidos (Santibáñez; Varnero; Bustamante, 2011), a partir da transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcoois de cadeia curta na presença de um catalisador adequado (Pinto et al., 2005). É um subproduto não tóxico, biodegradável, biocompatível e versátil que pode ser convertido em vários produtos químicos ou produtos de base biológica (Ayoub e Adbullah, 2012) ou ser utilizado como ingrediente na alimentação animal (Yang et al., 2012), em especial, como fonte dietética de energia na nutrição dos peixes, em alternativa às fontes convencionalmente utilizadas (Costa, 2015), sendo um ingrediente com potencial de substituição do milho.

Nas dietas de não ruminantes, apresenta altas taxas de absorção e é uma boa fonte de energia. Uma vez absorvido, pode ser convertido em glicose para produção de energia no fígado pela enzima glicerol quinase (Yang et al., 2012), pois possui uma molécula pura, não esterificada a ácidos graxos, que é facilmente absorvida por difusão, devido ao seu baixo peso molecular (Robergs e Griffin, 1998).

Também tem a capacidade de poupar aminoácidos glicogênicos, pois inibe a atividade da glutamato desidrogenase. A regulação da atividade da glutamato desidrogenase parece depender da fonte e dos níveis de glicerol na dieta e da direção da reação enzimática que pode converter o glutamato em α -cetoglutarato e vice-versa (Bernardino et al., 2014).

A possibilidade do uso do glicerol bruto em rações tem sido investigada, devido ao aumento do preço do milho e à excessiva quantidade de glicerol produzido, e tem sido relatada como fonte de energia com bom potencial para a tilápia do Nilo (Meurer et al., 2012; Neu et al., 2012, Costa et al., 2015; Gonçalves et al., 2015; Meurer et al., 2016; Moesch et al., 2016; Santos et al., 2019), carpa comum (Fernandes et al., 2016), bagre do canal (Li et al., 2010), jundiá (Theisen et al., 2019), pacu (Balén et al., 2014) e curimatá (Balén et al., 2017).

O glicerol bruto produzido a partir do biodiesel apresenta bom potencial de utilização como substituto de outros ingredientes energéticos na dieta de jundiá, pois apresenta energia digestível de 3.332 kcal/kg (Balén et al., 2014), superior ao encontrado para o milho e quirera de arroz (Oliveira Filho e Fracalossi, 2006), farelo de trigo (Rodrigues et al., 2012) e resíduo de mandioca (Gominho-Rosa et al., 2015), entretanto, o nível de inclusão deste ingrediente na dieta do jundiá ainda não foi definido e deve ser investigado.

Referências

- Adams, S. M. 1998. Ecological role of lipids in the health and success of fish populations. In M. T. Arts & B. C. Wainman (Eds.). *Lipids in Freshwater Ecosystems* (pp. 132–160). New York: Springer.
- Ashade, O.O., Osineye, Oluseun. 2013. Effect of replacing maize with cocoa pod husk in the nutrition of *Oreochromis niloticus*. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 8. 73–79. <https://doi.org/10.3923/jfas.2013.73.79>
- Ayoub, M., Abdullah, A.Z., 2012. Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2671–2686. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.054>
- Baldisserotto, B.; Radünez Neto, J.; Barcellos L.G. Jundiá (*Rhamdia* sp) In: Baldisserotto B.; Gomes L.C. (Org.) *Espécies nativas para a piscicultura no Brasil*, Santa Maria: UFSM, 2010, 608 p.
- Balen, R.E., Bueno Junior, G., Colpini, L.M.S., Bombardelli, R.A., da Silva, L.C.R., Meurer, F., 2017. Energia digestível e inclusão da glicerina bruta em dietas para juvenis de curimatã. *Bol. do Inst. Pesca* 43, 347–357. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p347>
- Balen, R.E., Tetu, P.N., Bombardelli, R.A., Pozza, P.C., Meurer, F., 2014. Digestible energy of crude glycerol for pacu and silver catfish. *Ciência Rural* 44, 1448–1451. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131426>
- Barcellos, L.J.G., Kreutz, L.C., Quevedo, R.M., Fioreze, I., Cericato, L., Soso, A.B., Fagundes, M., Conrad, J., Baldissera, R.K., Bruschi, A., Ritter, F., 2004. Nursery rearing of jundiá, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard) in cages: Cage type, stocking density and stress response to confinement. *Aquaculture* 232, 383–394. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00545-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00545-3)
- Barreto, A.P.; Aranha, L.M.R., 2005. Assembleia de peixes de um riacho da Floresta Atlântica: composição e distribuição espacial (Guaraqueçaba, Paraná, Brasil). *Acta Scientiarum*, 27, 153–160. <https://doi.org/10.4025/ACTASCIBIOLSCI.V27I2.1326>
- Bergamin G.T., Veiverberg C.A., Siqueira L.V., Eggers D.P., Radunez-Neto, J. 2013. Apparent digestibility of plant meal subjected to antinutrient removal in diets for South American catfish. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 48, 928–934. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800017>
- Bernardino, V.M.P.; Rodrigues, P.B.; Naves, L.P.; Zangeronimo, M.G.; Alvarenga, R.R.; Rosa, P.V.; Santos, L.M.; Teixeira, L.V., 2014. Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98, 559–568. <https://doi.org/10.1111/jpn.12113>

- Bockmann, F.; Guazzelli, A.Y.G.M., 2003. Heptapteridae. In Reis, R.E.; Kullander, S.O.; Ferraris, C.J. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS. p. 406-431
- Bombardelli, R.A., Sanches, E.A., Tessaro, L., Buzzi, A.H., Martins, C.V.B., Meurer, F., 2015. Digestible energy requirement for females of *Rhamdia quelen* on reproductive activity fed with ration based on vegetal ingredients. Latin American Journal of Aquatic Research 43(3):566-574, <https://doi.org/10.3856/vol43-issue3-fulltext-18>
- Borges Neto, P.G., Dutra, F.M., Ballester, E.L.C., Portz, L., 2013. Growth and survival of silver catfish, *R. quelen*, larvae fed enriched live food and artificial diet. Rev. Bras. Ciência Veterinária 20, 216–221. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2014.011>
- Casatti, L.; Langeani, F.; Castro, R.M.C. Peixes de riacho do Parque Estadual Morro do Diabo, bacia do alto rio Paraná, SP. Biota Neotropica, Campinas, v. 1, n. 1-2, p. 1-15, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032001000100005>
- Casatti, L.; Castro, R.M.C. Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater, riffles fish assemblage of the river São Francisco southeastern Brazil, 2006. Neotropical Ichthyology, Maringá, v. 4, n. 2, p. 203-214, <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000200006>
- Coldebella, I.J., Radunz Neto, J. 2002. Farelo de soja na alimentação de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*). Cienc. Rural 32, 499-503. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000300021>
- Costa, D.V., Paulino, R.R., Okamura, D., De Oliveira, M.M., E Rosa, P.V., 2015. Growth and energy metabolism of Nile tilapia juveniles fed glycerol. Pesqui. Agropecu. Bras. 50, 347–354. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500001>
- Fabregat, T.E.H.P., Wosniak, B., Gonçalves, A.F.N., Ha, N., Skoronski, E., Pessatti, M.L., 2016. Frações solúveis e insolúveis do hidrolisado proteico de resíduo de sardinha na alimentação do jundiá: Consumo de ração e excreção de amônia. Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec. 68, 1713–1720. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9153>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome. 180p. ISBN 978-92-5-109551-5
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. ISBN 978-92-5-130562-1
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Fernandes, D.R.A., Yamashiro, D., Erzen, J., Bittencourt, F., 2016. Glicerol na dieta de larvas de carpa comum (*Cyprinus carpio*). Uniciências 20, 11–15
- Freitas, L.E.L. Relação energia proteína em dietas práticas para juvenis de jundiá: digestibilidade e desempenho. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa

Catarina. Florianópolis, 2015.

- Gominho-Rosa, M.C., Rodrigues, A.P.O., Mattioni, B., Francisco, A., Moraes, G., Fracalossi, D. M. 2015. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: Digestibility, enzyme activity and starch microstructure. *Aquaculture*, 435: 92-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.035>
- Gonçalves, L.U., Cerozi, B. da S., Silva, T.S.C., Zanon, R.B., Cyrino, J.E.P., 2015. Crude glycerin as dietary energy source for Nile tilapia. *Aquaculture* 437, 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.004>
- Haliloglu, H.I., Bayir, A., Sirkecioglu, A.N., Mevlut, A.N., Atamanalp, M. 2004. Comparasion of fatty acids composition in some tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) living in seawater and freshwater. *Food Chemistry*. 86, 55-59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.028>
- Kubitza, F.A. 2015. Aquicultura no Brasil: principais espécies, áreas de cultivo, rações, fatores limitantes e desafios. *Panorama da Aquicultura*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 150, jul./ago.
- Lazzari, R., Radünz Neto, J., Emanuelli, T.A., Pedron, F.A, Costa, M.L., Losekann, M.C., Correia, V., Bochi, V. 2006. Diferentes fontes protéicas para a alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). *Ciência Rural*. <https://doi.org/36.10.1590/S0103-84782006000100037>
- Leonard, E.A., Pereira, S.L., Sprecher, H., huang, Y-S. 2004. Elongation of long-chain fatty acids. *Progress in Lipid Research*, 43, 36-54. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(03\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(03)00040-7)
- Li, M.H., Minchew, C.D., Oberle, D.F., Robinson, E.H., 2010. Evaluation of glycerol from biodiesel production as a feed ingredient for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. World Aquac. Soc.* 41, 130–136. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00320.x>
- Lundstedt L.M., Melo J.F., Moraes, G. 2004 Digestive enzymes and metabolic profile of *Pseudoplatystoma corruscans* (Teleostei: Siluriformes) in response to diet composition. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*. 137, 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2003.12.003>. PMID: 15050520.
- Mauerwerk, M.T., Zadinelo, I.V., Meurer, F., 2020. Use of glycerol in fish nutrition: a review. *Rev. Aquac.* 1–9. <https://doi.org/10.1111/raq.12502>
- Melo, J.F.B., Lundstedt, L.M., Metón, I., Baanante, I.V., Moraes, G. 2006. Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae). *Comparative Biochemistry and physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 145, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.06.007>
- Melo, J.F.B., Lundstedt, L.M., Inoue, L.A.K., Metón, I., Baanante, I. V., Moraes, G., 2016. Glycolysis and gluconeogenesis in the liver of catfish fed with different concentrations of proteins, lipids and carbohydrates. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 68, 1251–1258. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8337>

- Menezes, N. A., Weitzman, S. H., Oyakawa, O. T., Lima, F. C. T. de, Correa e Castro, R. M., Weitzman, M. J., 2007. Peixes de água doce da Mata Atlântica: lista preliminar das espécies e comentários sobre conservação de peixes de água doce neotropicais. São Paulo: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo.
- Meurer, F., Franzen, A., Piovesan, P., Rossato, K.A., Santos, L.D. Dos, 2012. Apparent energy digestibility of glycerol from biodiesel production for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). Aquac. Res. 43, 1734–1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02974.x>
- Meurer, F., Tovo Neto, A., da Silva, L.C.R., Cagol, L., Theisen, M.T., dos Santos, L.D., 2016. Crude glycerol in diets for Nile tilapia sex reversal (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). Aquac. Res. 47, 2682–2685. <https://doi.org/10.1111/are.12714>
- Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA). Boletim estatístico da pesca e aquicultura (Brasil 2011). Brasília, 2011.
- Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA). Boletim estatístico da pesca e aquicultura (Brasil 2012). Brasília, 2012. 129 p.
- Moesch, A., Meurer, F., Zadinelo, I.V., Carneiro, W.F., da Silva, L.C.R., dos Santos, L.D., 2016. Growth, body composition and hepatopancreas morphology of Nile tilapia fingerlings fed crude glycerol as a replacement for maize in diets. Anim. Feed Sci. Technol. 219, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.009>
- Naylor, R.L.; Hardy, R.W.; Bureau D.P.; Chiu, A.; Elliott, M.; Farrell, A.P.; Forster, I.; Gatli, D.M.; Goldburg, R.J.; Hua, K.; Nichols, P.D., 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. PNAS, 106, 36, 15103–15110. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>
- Neu, D.H., Furuya, Wilson Massamitu Yamashiro, D., Bittencourt, F., Moro, E.B., Fernandes, D.R.A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2012. Glycerol in the diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. Rev. Agrar. 4, 288–294.
- Oliveira Filho, P.R.C. De, Fracalossi, D.M., 2006. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients for jundiá juveniles. Rev. Bras. Zootec. 35, 1581–1587
- Pinto, A.C., Guarieiro, L.L.N., Resende, M.J.C., Ribeiro, N.M., Torres, E.A., Lopes, W.A., Pereira, P.A.P., Andrade, J.B. 2005. Biodiesel: an overview. Journal of the Brazilian Chemical Society, 16, 1313-1330. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532005000800003>
- Radünz Neto, J. Manejo alimentar – Nutrição. In: Baldisserotto, B.; Radünz Neto, J. Criação de jundiá, Santa Maria: Ed. UFSM, 2004.
- Refstie, S., Baeverfjord, G., Seim, R.P., Elvebøet, O. 2010. Effects of dietary yeast cell wall β -glucans and MOS on performance, gut health, and salmon lice resistance in Atlantic salmon (*Salmon salar*) fed sunflower and soybean meal. Aquaculture, 305, 109-116. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2010.04.005>

- Robergs, R. A.; Griffin, S. E, 1998. Glycerol: Biochemistry, Pharmacokinetics and Clinical and Practical Applications. *Sports Medicine*, 26, 3, 145-147. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826030-00002>
- Rodrigues, A.P.O., Gominho-Rosa, M.D.C., Cargnin-Ferreira, E., de Francisco, A., Fracalossi, D.M., 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Nutr.* 18, 65–72. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x>
- Rodrigues, J. B., et al. 2016. Fatty acid composition of fillets of silver catfish fed on sunflower oil and linseed oil. *International Food Research Journal*, 23, 2453-2458.
- Rossato, S., Maschio, D., Martinelli, S.G., Nunes, L.M. da C., Radünz Neto, J., Lazzari, R., 2018. Fish meal obtained from the processing of *Rhamdia quelen*: An alternative protein source. *Bol. do Inst. Pesca* 44, 1–9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.44.4.350>
- Salhi, M., Bessonart, M., 2011. Growth, survival and fatty acid composition of *Rhamdia quelen* (Quoy and Gaimard, 1824) larvae fed on artificial diet alone or in combination with *Artemia* nauplii. *Aquac. Res.* 44, 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03004.x>
- Santibáñez, C., Varnero, M.T., Bustamante, M. Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: a review, 2011. *Chilean Journal of Agriculture Research*, 71, 3, 469-475. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392011000300019>
- Santos, H.K. dos, Meurer, F., 2018. Nutrition and feeding aspects for jundiá (*Rhamdia quelen*). *Rev. Aquac.* 12, 1–11. <https://doi.org/10.1111/raq.12318>
- Santos, L.D., Zadinelo, I.V., Moesch, A., Bombardelli, R.A., Meurer, F., 2019. Crude glycerol in diets for Nile tilapia in the fattening stage. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 54, 1–10. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2019.V54.00460>
- Schulz, U.H.; Leuchtenberger, C., 2006. Activity patterns of South American silver catfish (*Rhamdia quelen*). *Brazilian Journal of Biology*, 66, 565-574. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842006000300024>
- Signor, A., Signor, A.A., Feiden, A., Boscolo, W.R., Reidel, A., Hayashi, C. 2004. Exigência de proteína bruta de alevinos de Jundiá (*Rhamdia quelen*). *Varia Scientia*, 4, 79–89.
- Signor, A., Feiden, A., Boscolo, W., Signor, A., Gonçalves, G., Sary, C., Klein, S., 2013. Eventos reprodutivos do jundiá *Rhamdia voulezi* cultivado em tanques-rede. *Rev. Bras. Reprodução Anim.* 37, 272–277.
- Silva, J.A.M. da, Pereira-Filho, M., Cavero, B.A.S., Oliveira-Pereira, M.I. de, 2007. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia de ração suplementada com enzimas digestivas exógenas para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818). *Acta Amaz.* 37, 157–164. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672007000100021>
- Theisen, M.T., Bombardelli, R.A., Meurer, F., Ferreira, R.L., da Silva, L.C.R., 2019. Crude glycerol inclusion in diets for post-larvae *Rhamdia voulezi* and *Rhamdia branneri*. *Aquac. Res.* 51, 1313–1316. <https://doi.org/10.1111/are.14465>

- Vieira Filho, J.E.R., Fishlow, A., 2017. Agricultura e Indústria no Brasil: inovação e competitividade, Ipea.
- Yang, F., Hanna, M.A., Sun, R., 2012. Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production. *Biotechnol. Biofuels* 5, 13. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-13>

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a substituição do milho pelo glicerol bruto na dieta do jundiá (*Rhamdia quelen*), nas diferentes fases de crescimento e produção (alevino, juvenil e terminação).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar o nível ideal de substituição do milho pelo glicerol em rações peletizadas de alevinos, juvenis e adultos de jundiá;
- b) Verificar se a substituição do milho pelo glicerol afeta o crescimento, desempenho produtivo, parâmetros sanguíneos e composição química corporal do jundiá nas diferentes fases de crescimento;
- c) Disponibilizar dados sobre a utilização nutricionalmente correta desta fonte energética alternativa para o jundiá nas diferentes fases de crescimento;
- d) Fomentar o cultivo de espécies nativas;
- e) Demonstrar a eficiência de uma fonte de energia mais barata que o milho na produção do jundiá;

3 CAPÍTULO 1: Uso do glicerol na nutrição de peixes: uma revisão

Capítulo publicado na revista *Reviews in Aquaculture* (2020) doi.org/10.1111/raq.12502

Qualis CAPES (Biodiversidade 2013-2016): A1

Autores: Marlise Teresinha Mauerwerk, Izabel Volkweis Zadinelo, Fábio Meurer

Resumo: O glicerol bruto, derivado da produção de biodiesel, e suas formas purificadas e sintetizadas, não são tóxicos, são biodegradáveis, biocompatíveis e versáteis, podendo ser convertidos em vários produtos químicos ou produtos de uso biológico. Dentre os possíveis usos, encontra-se a sua utilização na alimentação de peixes devido à composição química e nutricional, por ser classificado como alimento energético e ter baixo custo. A possibilidade do uso do glicerol em rações tem sido motivada pelo aumento do preço do milho e à excessiva quantidade de glicerol produzido e o custo do seu processamento para o uso em outros fins. O uso do glicerol em formulações de rações para peixes é viável, desde que sejam avaliados alguns fatores, como digestibilidade e níveis de inclusão. Nesse contexto, esta revisão discutiu os principais aspectos que devem ser levados em consideração quanto ao uso do glicerol na dieta de peixes, desde as características e composição química de suas categorias, suas vias no metabolismo de peixes e a influência sobre a glicose plasmática. O glicerol bruto ou glicerina é um ingrediente com bom potencial de utilização em rações para peixes, pois apresenta uma boa concentração de energia e pode substituir uma parte do milho em rações. Entretanto, fica evidente que há necessidade de trabalhos referentes a fases fisiológicas específicas como o caso de peixes em fase reprodutiva, bem como em relação ao tempo de estabilidade na água.

Palavras-chave: Alimentação animal; biodiesel; coproduto; fonte de energia; dietas para peixes.

1. Introdução

Os biocombustíveis se apresentaram para o mundo como uma fonte de energia com emissão baixa ou até zero de carbono, sendo o álcool combustível e o biodiesel exemplos desta tecnologia (Knothe et al., 2010). A produção de biodiesel está aumentando rapidamente devido a políticas e incentivos governamentais para o aumento do uso de biodiesel. O biodiesel é obtido através da transesterificação, que consiste em uma reação química entre gordura animal ou óleo vegetal, um álcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador, na qual também é produzido um subproduto, o glicerol, que é considerado um produto bruto não refinado ou coproduto (Ayoub e Adbullah, 2012; Leoneti et al., 2012).

A formação de glicerol é equivalente a 10% em peso do biodiesel total produzido. O glicerol pode ser classificado em três categorias: bruto, purificado/refinado e sintetizado comercialmente (Gholami et al., 2014). A maioria dos produtos industriais utiliza apenas glicerol purificado como matéria-prima; consequentemente, o glicerol não refinado se tornou um potencial poluente ambiental (Leoneti et al., 2012).

O glicerol é um subproduto não tóxico, biodegradável, biocompatível e versátil que pode ser convertido em vários produtos químicos ou produtos de base biológica (Ayoub e Adbullah, 2012). Ele pode ser utilizado como ingrediente na alimentação animal (Yang et al., 2012). As características físicas, químicas e nutricionais da glicerina bruta dependem do tipo de ácido graxo (gordura animal ou óleo vegetal) e do tipo de catálise empregada na produção de biodiesel. Porém, o uso de subprodutos de origem animal na alimentação de ruminantes é proibido no Brasil, mas pode ser adotada em dietas destinadas aos animais não ruminantes (Bessera et al., 2016). Na União Europeia, as gorduras e óleos animais de ruminantes, não ruminantes e seus subprodutos obtidos a partir de diferentes processos (tais como glicerol e / ou glicerina), podem ser usados na alimentação animal para ruminantes, não ruminantes e na aquicultura (Jędrejek et al., 2016; FDA, 2019).

Nas dietas de não ruminantes, ele apresenta altas taxas de absorção e é uma boa fonte de energia. Uma vez absorvido, pode ser convertido em glicose para produção de energia no fígado pela enzima glicerol quinase (Yang et al., 2012).

O atual aumento na produção de biocombustíveis origina um grande excedente de glicerol bruto e seu uso na formulação de rações de peixes pode reduzir custos e melhorar os lucros de ambas as cadeias produtivas (Balén et al., 2014).

O uso de glicerol bruto na alimentação animal, mais especificamente na alimentação de peixes, é um tema muito atual. No entanto, os artigos estão muito dispersos na literatura. Além disso, existem estudos bem-sucedidos, que indicam áreas que precisam de mais pesquisas para consolidar seu uso. Portanto, um artigo de revisão combinando informações atuais sobre este tópico é de suma importância para a aquicultura.

2. Características e composição química do glicerol

O glicerol puro é composto por carbono, hidrogênio e oxigênio, com fórmula molecular $C_3H_8O_3$ (Ayoub e Adbullah, 2012). Já o glicerol bruto, é um material líquido viscoso de coloração âmbar (Moesch et al., 2016), que possui baixo valor econômico devido à

presença de várias impurezas resultantes da indústria, como umidade, cinzas, sabões, metais e outros elementos (Ayoub e Adbullah, 2012) (Tabela 1).

Às vezes, dentre as impurezas está o álcool residual (metanol/etanol), especialmente quando o álcool é usado em excesso para conduzir a transesterificação química e a recuperação total do álcool não é alcançada. Por outro lado, alguns ácidos graxos livres presentes na matéria-prima inicial podem reagir com álcalis para formar sabões, que são solúveis na camada de glicerol resultante (Ayoub e Adbullah, 2012) (Tabela 1).

Os elementos químicos tipicamente encontrados no glicerol bruto são: carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, e pequena quantidade de outros elementos como sódio, cálcio, potássio, magnésio, fósforo, enxofre, ferro, zinco, cromo, cobre, manganês, cobalto, chumbo e alumínio (Thompson e He, 2006; Ayoub e Adbullah, 2012; Gholami et al., 2014) (Tabela 2).

O sódio e potássio residual podem ser provenientes do catalisador utilizado, como o metilato de sódio, ou hidróxido de potássio. Os outros elementos químicos presentes no glicerol bruto também podem ser derivados da fonte de óleo ou gordura utilizada na produção do biodiesel (Thompson e He, 2006; Yang et al., 2012) (Tabela 2).

Nas dietas de peixes, o impacto de sais e ácidos graxos pode ser mitigado por meio de uma formulação e fabricação adequada da dieta. A presença de metanol no glicerol bruto é motivo de maior preocupação, pois é conhecido por induzir estresse oxidativo celular na maioria dos animais. Por outro lado, o metanol não é tão tóxico para os peixes quanto é para primatas, uma vez que os peixes podem excretar metanol e seus metabólitos com maior eficiência do que os animais terrestres (Silva et al., 2012).

3. Formulação e fabricação de dietas com glicerol para peixes

Na maioria dos estudos, a formulação de dietas para peixes contendo a inclusão de glicerol tem como objetivo a substituição do milho (Li et al., 2010; Meurer et al., 2016; Moesch et al., 2016; Balen et al., 2017 ; Santos et al., 2019; Theisen et al., 2019). No entanto, alguns autores optam por formular dietas para peixes de forma diferente. Neu et al. (2013), formularam as dietas de forma que, à medida que a inclusão de glicerol aumentava, o milho e a lisina diminuía e a quantidade de farelo de soja e farelo de trigo aumentava.

Para a fabricação de dietas contendo glicerol, os ingredientes são moídos em granulometria específica (0,5 - 0,7 mm), pesados conforme a formulação, homogeneizados,

umedecidos e posteriormente processados. O processamento pode ser feito por extrusão ou peletização, levando em consideração o hábito alimentar das espécies-alvo. Os tamanhos da matriz usados para obter os *pellets* variam de acordo com a espécie e a idade dos peixes (Neu et al., 2013; Moesch et al., 2016; Balen et al., 2017; Santos et al., 2019).

Balen et al. (2017) utilizaram dietas peletizadas promovendo a substituição do milho pela glicerina bruta, de forma que, à medida que a glicerina era adicionada, a quantidade de amido disponível nas dietas diminuía. No entanto, essa diminuição do amido não afetou a qualidade dos *pellets*, uma vez que a adesão dos ingredientes ocorreu normalmente, mesmo nas dietas com maiores níveis de inclusão de glicerina.

Em dietas processadas por extrusão contendo 6% de lipídios, o aumento no teor de glicerol (0, 4 e 8%) reduziu a expansão (0%: 1,2; 4%: 1,1 e 8%: 1,1 mm) e a velocidade de afundamento (0%: 12,5; 4%: 10,5 e 8%: 8,6 cm s⁻¹), penetração aumentada (0%: 28,9; 4%: 39,9 e 8%: 44,3 mm) e umidade (0%: 13,4; 4%: 14,1 e 8 %: 17,9%) do sedimento (Sotelo-Rodriguez et al., 2018).

Para *Thunnus* spp., um peixe carnívoro, que tem baixa capacidade de digerir carboidratos e preferência por alimentos extrusados úmidos, a adição de glicerol à dieta em níveis reduzidos de 0,5-1,0% pode ser valioso para o desenvolvimento de dietas extrusadas, sem complicações metabólicas específicas nesta espécie (Sotelo-Rodriguez et al., 2018).

O processamento de dietas pode ser vantajoso quando se leva em consideração as características da composição química do glicerol. O metanol presente na mistura provavelmente é eliminado (Li et al., 2010; Silva et al., 2012), visto que o seu ponto de ebulição é de 64,7°C, e nos processos de peletização/ou extrusão a temperatura e pressão exercida sobre a mistura dos ingredientes para a formação dos *pellets* atua na diminuição do ponto de ebulição deste composto, que na etapa seguinte de secagem em estufa de recirculação de ar seria totalmente evaporado. Desta forma, a etapa da produção da ração pode necessitar de sistemas de proteção, ou de processamento do glicerol bruto para a retirada deste contaminante.

Tabela 1. Características das diferentes categorias de glicerol

Parâmetro	Glicerol Bruto			Glicerol semipurificado/purificado			Glicerol sintetizado		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Glicerol (%)	59,70	22,90	96,50	84,23	68,66	99,80	99,59	99,20	99,98
Água (%)	14,85	1,00	28,70	5,99	0,00	11,99	-	-	-
Sabão (%)	4,00	3,00	5,00	0,28	0,00	0,56	-	-	-
Álcool residual (%)	15,70	0,00	31,40	-	-	-	-	-	-
Metanol (%)	6,97	0,00	13,94	5,20	0,08	10,32	-	-	-
Umidade (%)	13,30	0,00	26,60	7,59	0,11	15,07	0,21	0,14	0,29
Cinzas (%)	14,70	0,00	29,40	3,31	0,05	6,57	0,00	0,00	< 0,002
Proteína bruta (%)	0,245	0,05	0,44	0,05	0,04	0,06	-	-	-
Ácidos graxos totais (%)	30,05	0,00	60,10	7,05	5,10	9,00	-	-	-
Carboidratos (%)	55,10	26,90	83,30	-	-	-	-	-	-
MONG (%) ¹	28,85	0,70	57,00	15,83	13,05	18,62	-	-	-
Trimetil glicol (%)	0,55	0,10	1,00	-	-	-	-	-	-
Cloreto de sódio (ppm)	-	-	-	2900,00	2300,00	3500,00	-	-	-
Energia bruta (MJ/Kg)	20,85	14,50	27,20	15,33	13,46	17,20	-	-	-
pH	7,35	2,00	12,70	3,63	1,67	5,60	3,20	0,00	6,40
Acidez	1,00	0,70	1,30	0,13	0,10	0,16	0,05	0,04	0,07
Coloração	Marrom escuro	Marrom escuro	Marrom escuro	39,50	34,00	45,00	6,05	1,80	10,30
Densidade (g/cm ³)	1,135	1,01	1,26	1,18	1,18	1,18	0,65	0,00	1,31
Viscosidade (mPa-s)	614,00	15,00	1213,00	-	-	-	930,00	-	930,00

¹MONG: matéria orgânica não glicerol; Valores reportados por: Mohtar et al. (2001) in Hazimah 2003; Thompson et al., 2006; Hansen et al., 2009; Hu et al., 2012; Ayoub e Adbullah, 2012; Oliveira et al., 2013; Gonçalves et al., 2014; Aguilar et al., 2016; Verussa et al., 2017.

Tabela 2. Elementos químicos presentes nas diferentes categorias de glicerol

Parâmetro	Glicerol Bruto			Glicerol semipurificado/purificado			Glicerol sintetizado		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Carbono (%)	39,10	24,0000	54,20	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio (%)	0,60	0,0001	1,20	-	-	-	-	-	-
Hidrogênio (%)	11,10	-	11,10	6,00	-	6,00	-	-	-
Cálcio (ppm)	81,65	0,00	163,30	53,03	26,25	79,81	-	-	-
Cloro (ppm)	-	-	-	18250,50	1,0000	36500,00	5,0500	0,6000	9,5000
Sódio (ppm)	14145,30	90,6000	28200,00	-	-	-	-	-	-
Potássio (ppm)	116,9000	0,0000	233,8000	610,0000	60,0000	1160,0000	-	-	-
Magnésio (ppm)	63,5500	0,4000	126,7000	23,0300	7,0700	38,9900	-	-	-
Fósforo (ppm)	1061,5000	12,0000	2111,0000	405,4350	157,4300	653,4400	-	-	-
Enxofre (ppm)	64,0000	0,0000	128,0000	-	-	-	-	-	-
Cobre (ppm)	-	-	-	0,3320	0,1320	0,5320	-	-	-
Cromo (ppm)	-	-	-	4,2855	0,0000	8,5710	-	-	-
Ferro (ppm)	61,8500	31,6000	92,1000	135,2900	14,0100	256,5700	-	-	-
Zinco (ppm)	-	-	-	1,2140	0,1940	2,2340	-	-	-
Manganês (ppm)	-	-	-	0,9755	0,4640	1,4870	-	-	-
Alumínio (ppm)	-	-	-	7,8800	1,9000	13,8600	-	-	-
Cobalto (ppm)	-	-	-	0,1600	0,1000	0,2200	-	-	-
Chumbo (ppm)	-	-	-	0,4100	0,2940	0,5260	-	-	-

Valores reportados por: Mohtar et al. (2001) in Hazimah 2003; Thompson et al., 2006; Rivaldi et al., 2008; You et al., 2008; Santibáñez, 2011; Hu et al., 2012; Oliveira et al., 2013; Gonçalves et al., 2014; Verussa at al., 2017.

3.1 Metabolismo do glicerol em peixes

O glicerol possui uma molécula pura, não esterificada a ácidos graxos, que é facilmente absorvida por difusão, devido ao seu baixo peso molecular. Com isso, pode ser considerado uma fonte adequada de energia (Robergs e Griffin, 1998).

Após a absorção do glicerol da dieta no intestino, juvenis de tilápia do Nilo são capazes de metabolizar o glicerol em lipídios, proteínas e/ou carboidratos e usá-lo como fonte de energia. A inclusão de glicerol em até 15% na dieta de tilápia juvenil não afeta a absorção de C-glicerol, que variou de 74,4% a 82,5% (Costa et al., 2017).

Para a entrada do glicerol na via glicolítica, é necessária a fosforilação do glicerol, e o nível da enzima glicerol quinase no tecido influencia sua utilização, pois ela catalisa a fosforilação do glicerol em glicerol 3-fosfato. No fígado da tilápia do Nilo, há uma tendência de aumentar a atividade da glicerol quinase a medida que aumenta o nível de glicerol na dieta (Costa et al., 2015).

Uma vez absorvido, via glicólise, o glicerol pode ser oxidado diretamente no ciclo do ácido cítrico ou via gliconeogênese na via da pentose fosfato. O catabolismo do glicerol em CO₂ variou de 57% a 70% do glicerol total absorvido. No fígado e nos músculos dos juvenis de tilápia, os esqueletos de carbono do glicerol também foram incorporados às proteínas ou aminoácidos (Costa et al., 2017).

O glicerol pode poupar aminoácidos glicogênicos, pois inibe a atividade da glutamato desidrogenase. A regulação da atividade da glutamato desidrogenase parece depender da fonte e dos níveis de glicerol na dieta e da direção da reação enzimática que pode converter o glutamato em α -cetoglutarato e vice-versa (Bernardino et al., 2014).

No metabolismo dos peixes carnívoros, como o robalo, o glicerol compete efetivamente com os precursores endógenos para a gliconeogênese hepática, representando assim um novo mecanismo para reduzir a utilização catabólica de aminoácidos para a biossíntese de carboidratos e a geração resultante de resíduos nitrogenados (Rito et al., 2019), estendendo assim o uso de proteínas alimentares a outras funções fisiológicas, como o crescimento (Palma et al., 2019).

As informações sobre a lipidomia muscular serão importantes para uma avaliação mais completa da modificação da dieta pelo uso de glicerol nos estágios de crescimento e engorda de peixes de viveiro, pois o teor de gordura pode alterar as qualidades organolépticas do filé e a aceitação do produto pelo consumidor (Palma et al., 2019).

A qualidade e a vida útil dos produtos à base de carne de peixe dependem do estado energético do músculo esquelético no abate, pois os processos de decomposição da carne podem ser exacerbados pelo esgotamento de energia. Em termos da capacidade putativa do glicerol da dieta para melhorar o estado energético pré-morte do músculo, para a dourada, foi observado aumento da deposição de glicogênio nas fibras musculares de peixes alimentados com glicerol, bem como níveis aumentados de ATP (medido imediatamente após a morte). Indicadores a jusante do estado energético do músculo: pH muscular e índice de rigor, mostraram progressão atrasada ou não afetada de seus perfis temporais usuais para peixes alimentados com glicerol. Portanto, o glicerol pode melhorar o estado de energia muscular dessa espécie, devido ao aumento do glicogênio muscular e do ATP (Silva et al., 2012).

Sparus aurata alimentados com glicerol apresentaram maior rendimento de filés, quando comparado ao controle. Esse efeito foi atribuído à maior quantidade de deposição de proteína, devido ao efeito poupador que o glicerol pode ter dos aminoácidos glicogênicos como alanina e glutamato. A inclusão de 5% de glicerol na dieta melhorou significativamente deposição de proteínas e retenção de gordura no filé. Em suma, o glicerol pode melhorar o status energético do músculo desses peixes, pois aumenta o glicogênio e ATP no músculo (Silva et al., 2012).

Os valores da composição proximal do filé e do índice hepato-somático obtidos, quando se compara um tratamento controle (sem a inclusão do glicerol) com a inclusão do glicerol na dieta, sugerem que os peixes são capazes de lidar metabolicamente de maneira adequada com a substituição parcial de carboidratos/amido típicos por glicerol como substância geradora de energia (Silva et al., 2012).

Existem evidências também, de que diferentes espécies de peixes utilizam o glicerol de diferentes formas (Menton et al., 1986; Savina e Wojtczak, 1977). Em alguns casos, o glicerol não é usado como precursor do glicogênio, mas ainda fornece energia, poupando outros precursores gliconeogênicos (como o lactato) e, indiretamente, contribui para a produção de glicose e glicogênio, o que parece ser o caso da truta arco-íris (Kam e Milligan, 2006).

3.2 Uso do glicerol como fonte de energia para peixes

O uso do glicerol como fonte de energia para peixes, varia de acordo com a espécie e o tamanho dos animais (Neu et al., 2013), e isso pode ser pela formação do trato gastrointestinal e a composição do produto (Fernandes et al., 2016).

É uma fonte de energia com bom potencial para a tilápia do Nilo (Meurer et al., 2012; Neu et al., 2012b, Costa et al., 2015; Goncalves et al., 2015; Meurer et al., 2016; Moesch et al., 2016; Santos et al., 2019), carpa comum (Fernandes et al., 2016), bagre do canal (Li et al., 2010), jundiá, pacu (Balén et al., 2014) e curimatá (Balén et al., 2017) (Tabela 3).

A variação dos resultados de digestibilidade podem estar relacionadas às diferenças do hábito alimentar entre as espécies, e também as diferenças entre os graus de pureza apresentadas pelo ingrediente testado, uma vez que, as características físicas, químicas e nutricionais do tipo de glicerol dependem dos tipos de ácidos graxos e de catálise empregados na produção do biodiesel (Balén et al., 2017).

O glicerol bruto tem um bom potencial para ser utilizado na substituição de outros ingredientes energéticos na formulação de dietas para peixes, pois apresenta energia digestível de 13,09 MJ Kg⁻¹ para juvenis (120g) de tilápia do Nilo (Meurer et al., 2012), valores similares aos encontrados para o milho (13,87 MJ Kg⁻¹) e farelo de trigo (13,08 MJ Kg⁻¹), e superiores aos níveis de energia digestível do amido de milho (10,52 MJ Kg⁻¹), sorgo (11,62 MJ Kg⁻¹) e germe de milho (9,00 MJ Kg⁻¹), também com juvenis (100g) de tilápia do Nilo (Pezzato et al., 2002). Para *Piaractus mesopotamicus*, o glicerol bruto apresentou 15,20 MJ Kg⁻¹ de energia digestível (Balén et al., 2014), valor superior aos encontrados para o milho (14,49 MJ Kg⁻¹), farelo de trigo (13,86 MJ Kg⁻¹) e sorgo (14,52 MJ Kg⁻¹) e inferior ao do farelo de arroz (17,61 MJ Kg⁻¹) (Abimorad e Carneiro, 2004). Para juvenis de *Rhamdia quelen*, o glicerol bruto apresentou 13,95 MJ Kg⁻¹ de energia digestível (Balén et al., 2014), valor superior aos encontrados por Oliveira Filho e Fracalossi (2006), que observaram energia digestível de 9,62 MJ Kg⁻¹ para o milho e 10,28 MJ Kg⁻¹ para a quirera de arroz. De acordo com os dados apresentados anteriormente, pode-se observar que o glicerol apresenta energia digestível semelhante ou superior a maioria dos ingredientes testados, mesmo em diferentes espécies de peixes, demonstrando seu potencial de utilização.

Tabela 3. Coeficiente de digestibilidade aparente da energia e energia digestível de diferentes categorias de glicerol para algumas espécies de peixes.

Espécie	Peso médio inicial dos peixes (g) ± desvio padrão	Categoria do glicerol	Coeficiente de digestibilidade aparente da energia	Energia digestível (MJ Kg⁻¹)	Autores
<i>Oreochromis niloticus</i>	343,10±77,70	Glicerol bruto vegetal	0,58	12,78	Neu et al., 2012b
<i>Oreochromis niloticus</i>	343,10±77,70	Glicerol semi-purificado misto	0,81	10,91	Neu et al., 2012b
<i>Oreochromis niloticus</i>	343,10±77,70	Glicerol semi-purificado vegetal	0,47	7,33	Neu et al., 2012b
<i>Oreochromis niloticus</i>	120,00±4,50	Glicerol bruto	0,89	13,09	Meurer et al., 2012
<i>Oreochromis niloticus</i>	66,53±10,49	Glicerina bruta	0,79	12,04	Gonçalves et al., 2015
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	129,06±29,27	Glicerol bruto	0,97	15,20	Balen et al., 2014
<i>Rhamdia quelen</i>	69,06±12,77	Glicerol bruto	0,89	13,95	Balen et al., 2014
<i>Prochilodus lineatus</i>	66,47±20,06	Glicerina bruta	0,76	11,93	Balen et al., 2017

3.3 Níveis de inclusão do glicerol na dieta de peixes

Fatores bióticos e abióticos podem afetar o nível ideal ou máximo de inclusão de glicerol nas dietas dos peixes. Dentre estes, as diferenças entre as espécies, nível trófico e estágio de vida, temperatura, salinidade, fotoperíodo, processamento da dieta, entre outros.

Geralmente, as dietas testadas para peixes são formuladas promovendo a substituição do milho por um tipo de glicerol, de forma que, à medida que o tipo de glicerol é adicionado, ocorre a diminuição da quantidade de amido disponível nas rações, sem prejudicar a qualidade dos *pellets* (Balén et al., 2017).

Várias pesquisas foram realizadas no intuito de definir o nível de inclusão ideal na dieta de diferentes espécies de peixes, levando como principal fator de decisão os parâmetros de desempenho zootécnico (Tabela 4).

O glicerol dietético pode ser metabolizado em lipídios, proteínas e/ou carboidratos e utilizado como fonte energética pela tilápia (*Oreochromis mossambicus*). Juvenis absorvem altamente o glicerol da dieta e o catabolizam em CO₂ (Costa et al., 2017).

Neu et al. (2012a) não recomenda a utilização do glicerol para alevinos de tilápia do Nilo ($0,23 \pm 0,12$ g), pois a sobrevivência dos peixes que foram alimentados com a inclusão do glicerol na dieta (2,5%, 5,0%, 7,5% e 10,00% de glicerol) foi inferior aos demais (sem inclusão), entretanto o referido experimento foi executado durante um período frio, onde a temperatura da água era inferior a faixa de conforto térmico da espécie. De acordo com Meurer et al., (2007) os peixes em baixa temperatura ficam lentos em função do baixo metabolismo, o que leva a uma demora no consumo de ração, e, como o glicerol bruto é higroscópico, há uma chance deste nutriente lixiviar modificando de maneira marcante o balanço nutricional da ração.

Fernandes et al. (2016) observou que a inclusão de 10% de glicerol na dieta de larvas de carpa comum proporcionou maior peso final, comprimento final, ganho de peso, taxa de crescimento específico e fator de condição, porém o mesmo tratamento apresentou os piores resultados de sobrevivência.

Os juvenis de tilápia do Nilo ($29,15 \pm 8,40$ g) usam bem o glicerol bruto de óleo vegetal como fonte de energia, como destacada pelo ganho de peso constante, quando utilizadas dietas com níveis de 0%, 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de inclusão (Neu et al., 2013). Níveis de inclusão de glicerol purificado acima de 10% na dieta de juvenis de tilápia do Nilo ($37,7 \pm 10,6$ g) caracterizam o glicerol como nutriente lipogênico (Costa et al., 2015).

A suplementação da dieta de alevinos de tilápia do Nilo com 1,5% de alcoiglicerol, derivado do óleo de fígado de tubarão, resulta em aumento de ganho de peso e taxa de crescimento específico, apresentando melhor conversão alimentar dos peixes (Elumalai et al., 2019).

O glicerol na forma purificada na dieta da truta arco-íris, não foi considerado uma boa fonte energética, pois não teve efeito sobre os parâmetros de desempenho e os peixes passaram a apresentar hiperglicemia (Menton et al., 1986).

Embora a glicerina bruta não comprometa o crescimento, qualquer nível de inclusão na dieta (4%, 8%, 12% e 16%) prejudica o processo de espermatogênese e prejudica a características espermáticas de reprodutores de tilápia do Nilo (Mewes et al., 2016).

A possibilidade da substituição do milho de rações, de espécies de peixes onívoras, é bastante importante, o que é muito comum no Brasil, bem como em outras partes do mundo. Primeiro, o milho é um alimento utilizado para humanos e desta forma diminui-se a concorrência por este alimento. Segundo, com a fabricação de etanol combustível a partir do milho, os seus preços tendem a subir, portanto a sua substituição por um ingrediente mais barato pode evitar um aumento no preço da ração.

Tabela 4. Níveis utilizados e recomendados nas dietas das diferentes categorias de glicerol para algumas espécies de peixes, em relação ao desempenho zootécnico.

Espécie	Peso médio inicial dos peixes (g)	Categoria do glicerol	Níveis testados (%)	Nível máximo recomendado (%)	Autores
<i>Oreochromis niloticus</i>	0,014	Glicerol bruto	0,0; 2,2; 4,4; 6,6; 8,8 e 11,0	Até 11,0	Meurer et al., 2016
<i>Oreochromis niloticus</i>	0,23	Glicerol bruto	0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0	0	Neu et al., 2012a
<i>Oreochromis niloticus</i>	7,73	Glicerina bruta	0,0; 4,0; 8,0; 12,0 e 16,0	5,9	Gonçalves et al., 2015
<i>Oreochromis niloticus</i>	11,46	Glicerol bruto	0,0; 4,0; 8,0; 12,0; 16,0 e 20,0	Até 20,0	Moesch et al., 2016
<i>Oreochromis niloticus</i>	29,15	Glicerol bruto	0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0	Até 10,0	Neu et al., 2013
<i>Oreochromis niloticus</i>	37,7	Glicerol purificado	0,0; 5,0; 10,0 e 15,0	Até 10,0	Costa et al., 2015
<i>Oreochromis niloticus</i>	190,0	Glicerol bruto	0,0; 6,0; 12,0; 18,0 e 24,0	Até 24,0	Santos et al., 2019
<i>Ictalurus punctatus</i>	6,8	Glicerol bruto	0,0; 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0	Até 10,0	Li et al., 2010
<i>Cyprinus carpio</i>	0,14	Glicerol bruto	0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0	10	Fernandes et al., 2016
<i>Prochilodus lineatus</i>	18,71	Glicerina bruta	0,0; 4,0; 8,0; 12,0; 16,0 e 20,0	4	Balen et al., 2017
<i>Rhamdia voulezi</i>	0,01	Glicerol bruto	0,0; 2,2; 4,4; 6,6 e 8,8	Até 8,8	Theisen et al., 2020
<i>Rhamdia branneri</i>	0,01	Glicerol bruto	0,0; 2,2; 4,4; 6,6 e 8,8	Até 8,8	Theisen et al., 2020

3.4 Inclusão de glicerol na dieta e sua influência sobre a glicose plasmática

O uso do glicerol na forma purificada na dieta da truta arco-íris provoca hiperglicemia (Menton et al., 1986). Entretanto, para outras espécies, foram observados efeitos contrários (Tabela 5). A glicose plasmática de reprodutores machos tilápia do Nilo foi afetada pela glicerina bruta na dieta e diminuiu com altos níveis de inclusão do glicerol (Mewes et al., 2016).

Para juvenis de curimatã, as taxas de glicose plasmática também foram influenciadas pelos níveis de glicerina na dieta, onde a menor concentração de glicose plasmática foi no nível de 4%, seguido pelos níveis de 8, 12, 16 e 20%, e com a maior concentração decorrente do nível sem adição de glicerina (0%). É possível que o glicerol presente na glicerina bruta tenha sido direcionado para o ciclo de Krebs, constituindo-se, efetivamente, em fonte de energia dietética para estes animais (Balén et al., 2017).

Efeito semelhante foi observado por Santos et al. (2019) em tilápia do Nilo na fase de engorda, onde o nível de glicose no sangue em peixes alimentados com a dieta controle (sem glicerol na dieta, ou seja, apenas amido de milho) levou mais tempo para restabelecer o nível basal. O fato observado comprova que a ingestão de altos níveis de amido resulta em níveis de alta glicemia, e o retorno aos níveis basais é muito mais lento do que quando os peixes são nutridos com outros alimentos (Santos et al., 2019).

Tabela 5. Glicose plasmática de diferentes espécies de peixes alimentados com dietas com níveis crescentes de glicerol

Espécie	Peso(g) ± desvio padrão	Período experiment al	Glicose (mg dL ⁻¹) x tratamento														Jejum
			0,0 %	2,5%	4,0 %	5,0%	6,0 %	7,5%	8,0 %	10%	12%	15%	16%	18%	20%	24%	
<i>Salmo gairdneri</i> ¹	3,1 ± 0,2	12 semanas	92,15	-	-	-	117,20	-	-	-	107,50	-	-	-	-	-	3 h
			91,90	-	-	-	87,40	-	-	-	107,80	-	-	-	-	-	18 h
<i>Ictalurus punctatus</i> ²	6,8 ± 0,1	9 semanas	69,20	-	-	88,20	-	-	-	66,90	-	62,60	-	-	60,10	-	3 h
<i>Oreochromis niloticus</i> ³	29,15 ± 8,40	79 dias	63,42	54,26	-	57,36	-	68,29	-	53,84	-	-	-	-	-	-	24 h
<i>Oreochromis niloticus</i> ⁴	37,7 ± 10,6	60 dias	72,00	-	-	62,00	-	-	-	63,00	-	64,00	-	-	-	-	24 h
<i>Oreochromis niloticus</i> ⁵	25,72 ± 0,12	11 meses	112,48	-	103,88	-	-	-	102,80	-	78,71	-	72,52	-	-	-	24 h
<i>Prochilodus lineatus</i> ⁶	18,71 ± 2,70	64 dias	56,00	-	39,93	-	-	-	43,55	-	55,21	-	46,92	-	47,23	-	24 h
<i>Oreochromis niloticus</i> ⁷	190,0 ± 4,5	50 dias	35,00	-	-	-	35,60	-	-	-	41,60	-	-	46,30	-	47,00	1 h
			81,00	-	-	-	72,60	-	-	-	65,00	-	-	63,60	-	64,60	1:30 h
			57,00	-	-	-	57,00	-	-	-	52,00	-	-	47,00	-	45,60	2 h

¹Menton et al. (1986); ²Li et al. (2010); ³Neu et al. (2013); ⁴Costa et al. (2015); ⁵Mewes et al. (2016): $y = 115.1692 - 2.632x$, $r = 0.4683$; ⁶Balen et al. (2017); ⁷Santos et al. (2019).

4. Conclusão

O glicerol bruto ou glicerina, derivado da fabricação de biodiesel, é um ingrediente com bom potencial de utilização em rações para peixes, pois apresenta uma boa concentração de energia e pode substituir uma parte do milho em rações. Entretanto, fica evidente que há necessidade de trabalhos referentes a fases fisiológicas específicas como o caso de peixes em fase reprodutiva, bem como em relação ao tempo de estabilidade na água.

Referências

- Abimorad EG & Carneiro DJ (2004) Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia 33(5): 1101-1109. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000500001>
- Aguilar CB, Prado RM, Gonzáles LC, Campos CNS (2016) Review: Glycerin as byproduct of biodiesel production, its characteristics, applications and soil use. Cultivos Tropicales 37(3): 7-14. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4329.2403>
- Ayoub M & Adbullah AZ (2012) Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16: 2671-2686. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.054>
- Balen RE, Tetu PN, Bombardelli RA, Pozza PC, Meurer F (2014) Digestible energy of crude glycerol for pacu and silver catfish. Ciência Rural 44 (8): 1448-1451. <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131426>
- Balen RE, Bueno Junior G, Colpini LMS, Bombardelli RA, Silva LCR, Meurer F (2017) Energia digestível e inclusão da glicerina bruta em dietas para juvenis de curimatã. Boletim do Instituto de Pesca 43(3): 347 – 357. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p347>
- Bernardino VMP, Rodrigues PB, Naves LP, Zangeronimo MG, Alvarenga RR, Rosa PV, Santos LM, Teixeira LV (2014) Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 98: 559-568. <https://doi.org/10.1111/jpn.12113>
- Beserra VA, Cesar AS, Peres AAC (2016) Adoção da glicerina bruta na dieta animal e seu impacto no produto final. Archivos de Zootecnia 65(250): 259-266. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5959679.pdf>
- Clow KA, Ewart, KV, Driedzic WR (2008). Low temperature directly activates the initial glycerol antifreeze response in isolated rainbow smelt (*Osmerus mordax*) liver cells.

American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 295(3): 961–970. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.90372.2008>

Costa DV, Paulino RR, Okamura D, Oliveira MM, Rosa PV (2015) Growth and energy metabolism of Nile tilapia juveniles fed glycerol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50: 347-354. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500001>.

Costa DV, Dias J, Colen R, Rosa PV, Engrola S (2017) Partition and metabolic fate of dietary glycerol in muscles and liver of juvenile tilapia. *Archives of Animal Nutrition* 71:165-174. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1281579>.

Elumalai P, Prakash P, Musthafa MS, Van Doan H, Hoseinifar SH, Faggio C (2019). Effect of alkoxy glycerol on growth performance, immune response and disease resistance in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Research in Veterinary Science* 123: 298-304. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.01.006>

Food and Drug Administration - FDA (2019). Food and Drugs: subchapter E e animal drugs, feeds, and related products: Part 582 e substances generally recognized as safe, subpart B e General purpose food additives. Code of Federal Regulations, Department of health and human services, Title 21, Volume 6, Revised as of April 1, 2019. CITE: 21CFR582.1320.

Fernandes DRA, Yamashiro D, Pessini JE, Bittencourt F, Boscolo WB, Neu DH (2016) Glicerol na dieta de larvas de carpa comum (*Cyprinus carpio*). *Uniciências* 20(1): 11-15. <https://revista.pgsskroton.com/index.php/uniciencias/article/view/4340/3362>

Gholami Z, Abdullah AZ, Lee KT (2014) Dealing with the surplus of glycerol production from biodiesel industry through catalytic upgrading to polyglycerols and other value-added products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 327–341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.092>

Gonçalves LMP, Moreira I, Pozza PC, Carvalho PLO, Toledo JB, Peñuelasierra LM (2014) Semi purified glycerins in growing and finishing pigs feeding (30-90 kg). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 15(1): 221-226. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402014000100018>

Gonçalves LU, Cerozi BS, Silva TSC, Zanon RB, Cyrino JEP (2015) Crude glycerin as dietary energy source for Nile tilapia. *Aquaculture* 437: 230-234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.004>

Hansen CF, Hernandez A, Mullan BP, Moore K, Trezona-Murray M, King RH, Pluske JR (2009) A chemical analysis of samples of crude glycerol from the production of biodiesel in Australia, and the effects of feeding crude glycerol to growing-finishing pigs on performance, plasma metabolites and meat quality at slaughter. *Animal Production Science* 49: 154–161. <https://doi.org/10.1071/EA08210>

Hazimah AH, Ooi TL, Salmiah A (2003) Recovery of glycerol and diglycerol from glycerol pitch. *Journal of Oil Palm Research* 15(1): 1-5. <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2013/09/jopr15june2003-hazimah1.pdf>

- Hu S, Luo X, Wan C, Li Y (2012) Characterization of crude glycerol from biodiesel plants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 60: 5915–5921. <https://doi.org/10.1021/jf3008629>
- Jędrejek D, Levic J, Wallace J, Oleszek W (2016). Animal by-products for feed: characteristics, European regulatory framework, and potential impacts on human and animal health and the environment. *Journal of Animal and Feed Sciences* 25: 189–202. <https://doi.org/10.22358/jafs/65548/2016>
- Kam JC & Milligan CL (2006) Fuel use during glycogenesis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) white muscle studied in vitro. *Journal of Experimental Biology* 209: 871–880. <https://doi.org/10.1242/jeb.02071>
- Knothe G, Krahl J, Gerpen JV (2010). The biodiesel handbook. 2nd ed. AOCS Press, 494p. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-62-2.50013-9>
- Leoneti AB, Aragão-Leoneti V, Oliveira SVWB (2012) Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol. *Renewable Energy* 45: 138-145. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.032>
- Li MH, Minchew CD, Oberle DF, Robinson EH (2010) Evaluation of glycerol from biodiesel production as a feed ingredient for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 41: 130-136. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00320.x>
- Meurer F, Sá e Silva M, Colpini LMS, Freccia A, Mauerwerk VL (2007) Nível de arraçoamento de pós-larvas de tilápia do Nilo em baixa temperatura. *Revista Científica de Produção Animal* 9 (1): 76-83. <https://www.periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/rcpa/article/view/42710/21258>
- Meurer F, Franzen A, Piovesan P, Rossato KA, Santos LD (2012) Apparent energy digestibility of glycerol from biodiesel production for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquaculture Research* 43(11): 1734-1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02974.x>
- Meurer F, Tovo Neto A, Silva LCR, Cagol L, Theisen MT, Santos LD (2016) Crude glycerol in diets for Nile tilapia sex reversal (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquaculture Research* 47: 2682-2685. <https://doi.org/10.1111/are.12714>
- Menton DJ, Slinger SJ, Hilton JW (1986) Utilization of free glycerol as a source of dietary energy in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 56(3-4): 215-227. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90337-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90337-6)
- Mewes JK, Meurer F, Tessaro L, Buzzi AH, Syperreck MA, Bombardelli RA (2016) Diets containing crude glycerol damage the sperm characteristics and modify the testis histology of Nile tilapia broodstock. *Aquaculture* 465: 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.035>
- Moesch A, Meurer F, Zadinelo IV, Carneiro WF, Silva LCR, Santos LD (2016) Growth, body composition and hepatopancreas morphology of Nile tilapia fingerlings fed crude glycerol as

a replacement for maize in diets. *Animal Feed Science and Technology* 219: 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.009>

Neu DH, Furuya WM, Yamashiro D, Bittencourt F, Moro EB, Fernandes DRA, Boscolo WR, Feiden A (2012) Glicerol na dieta de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Agrarian* 5(17): 288-294. <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1701/1101>

Neu DH, Furuya WM, Boscolo WR, Bueno GW, Potrich FR, Feiden A (2012) Energia digestível de diferentes fontes de glicerol para a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 7(1): 174-179. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i1a501>

Neu DH, Furuya WM, Boscolo WR, Potrich FR, Lui TA, Feiden A (2013) Glycerol inclusion in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. *Aquaculture Nutrition* 19(2): 211-217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00968.X>

Oliveira Filho PRC & Fracalossi DM (2006) Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(4): 1581-1587. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000600002>

Oliveira JS, Antoniassi R, Freitas SC, Müller MD (2013) Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. *Ciência Rural* 43(3): 509-512. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000300022>

Palma M, Tavares L, Rito J, Henriques L, Silva J, Ozório R, Pardal MA, Magnoni LJ, Viegas I (2019). Metabolic Effects of Dietary Glycerol Supplementation in Muscle and Liver of European Seabass and Rainbow Trout by 1H NMR Metabolomics. *Metabolites*, 9(10), 202. <https://doi.org/10.3390/metabo9100202>

Pezzato LE, Miranda EC, Barros MM, Pinto LGQ, Furuya WM, Pezzato AC (2002) Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 31(4): 1595-1604. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>

Rito J, Viegas I, Pardal MÂ, Metón I, Baanante IV, Jones JG (2018). Utilization of glycerol for endogenous glucose and glycogen synthesis in seabass (*Dicentrarchus labrax*): A potential mechanism for sparing amino acid catabolism in carnivorous fish. *Aquaculture* 498: 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.066>

Robergs RA & Griffin SE (1998) Glycerol: Biochemistry, pharmacokinetics and clinical and practical applications. *Sports Medicine* 26(3): 145-147. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826030-00002>

Santibáñez C, Varnero MT, Bustamante M (2011) Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: a review. *Chilean Journal of Agriculture Research* 71(3): 469-475. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392011000300019>

Santos LD, Zadinelo IV, Moesch A, Bombardelli RA, Meurer F (2019) Crude glycerol in diets for Nile tilapia in the fattening stage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 54. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00460>

Savina MV & Wojtczak AB (1977) Enzymes of gluconeogenesis and the synthesis of glycogen from glycerol in various organs of the lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* 57: 185–190. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(77\)90141-9](https://doi.org/10.1016/0305-0491(77)90141-9)

Silva TS, Matos E, Cordeiro OD, Colen R, Wulff T, Sampaio E, Sousa V, Valente LM, Gonçalves A, Silva JM, Bandarra N, Nunes ML, Dinis MT, Dias J, Jessen F, Rodrigues PM (2012) Dietary Tools to Modulate Glycogen Storage in Gilthead Seabream Muscle: Glycerol Supplementation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(42): 10613–10624. <https://doi.org/10.1021/jf3023244>

Sotelo-Rodríguez JI, Rombens AN, Barreto-Curiel F, Mata-Sotres JA, Viana MT (2018). Insights on Feed Characteristics of Tuna Moist Extruded Aquafeeds Using Glycerol. *Animal Nutrition and Feed Technology* 18: 37-53. <https://doi.org/10.5958/0974-181X.2018.00004.5>

Theisen MT, Bombardelli RA, Meurer F, Ferreira RL, Silva LCR (2020). Crude glycerol inclusion in diets for post-larvae *Rhamdia voulezi* and *Rhamdia branneri*. *Aquaculture Research*. 51: 1313-1316. <https://doi.org/10.1111/are.14465>

Thompson JC & He BB (2006) Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture* 22(2): 261–265. <https://doi.org/10.13031/2013.20272>

Verussa GH, Corassa A, Pina DS, Ton APS, Komiyama CM, Teixeira AO (2017) Performance and serum parameters of growing pigs fed semi-purified glycerin. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 30(1): 11-20. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rccp.v30n1a02>

Yang F, Hanna MA, Sun R (2012) Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels* 5(1): 13. <http://dx.doi.org/10.1186/1754-6834-5-13>

You YD, Shie JL, Chang CY, Huang SH, Pai SY, Yu YH, Chang CH (2008) Economic cost analysis of biodiesel production: Case in soybean oil. *Energy Fuels* 22(1): 182-189. <https://doi.org/10.1021/ef700295c>

4 CAPÍTULO 2: Efeito do glicerol na alimentação de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*): parâmetros morfométricos, zootécnicos e sanguíneos

Capítulo publicado na revista *Aquaculture* (2021) doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736361

Qualis CAPES (Biodiversidade 2013-2016): A1

Autores: Marlise Teresinha Mauerwerk, Izabel Volkweis Zadinelo, Marcos César Zanella Júnior, Rafael Ernesto Balen, Robie Allan Bombardelli, Lilian Carolina Rosa da Silva, Lilian Dena dos Santos, Fábio Meurer

Resumo: A diminuição de estoques naturais de combustíveis fósseis tem dado suporte a utilização de combustíveis alternativos e aumentado a disponibilidade do glicerol, subproduto da fabricação do biodiesel. A utilização deste na alimentação animal tem sido amplamente investigada sendo relatada como fonte de energia em potencial para diferentes espécies de peixes. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do glicerol bruto, em substituição ao milho, na alimentação de alevinos do jundiá, e seu efeito sobre o desempenho zootécnico e parâmetros morfométricos e sanguíneos. Mil e quinhentos alevinos de jundiá com peso médio de $1,5 \pm 0,03$ g foram distribuídos em 30 caixas d'água de 1000 litros, em um delineamento inteiramente casualizado, com 6 tratamentos (0, 20, 40, 60, 80 e 100% de substituição do milho pelo glicerol) e cinco repetições. O período experimental foi de 75 dias e o regime alimentar consistiu em três alimentações diárias até saciedade aparente. A substituição do milho pelo glicerol em até 100% não afetou parâmetros morfométricos, desempenho zootécnico, sobrevivência, parâmetros sanguíneos de cálcio, colesterol, fosfatase alcalina, proteínas totais, transaminase glutâmica oxalacética e pirúvica e triglicerídeos, no entanto, a taxa de glicose plasmática dos alevinos de jundiá foi influenciada ($P < 0,05$). Conclui-se que o glicerol bruto produzido a partir do biodiesel apresenta bom potencial de utilização como substituto do milho na dieta de jundiá, e que alevinos desta espécie tem a capacidade de utilizar até 7,5% de inclusão do glicerol ou até substituição total do milho, sem afetar parâmetros morfométricos, de desempenho ou causar prejuízo a sua saúde.

Palavras-chave: Biodiesel; Dieta; Nutrição animal; Peixe.

1. Introdução

A diminuição dos estoques globais de combustíveis fósseis, como o petróleo, tem dado suporte para a utilização de combustíveis alternativos, como o biodiesel, que é fabricado a partir de recursos totalmente renováveis. O glicerol, comumente conhecido como glicerina, é um importante subproduto do processo de fabricação do biodiesel (Ayoub e Abdullah, 2012). A formação de glicerol equivale a 10% em peso do biodiesel total produzido e pode ser classificado em três categorias: bruto, purificado/refinado e sintetizado comercialmente (Gholami et al., 2014).

Vários estudos buscaram a identificação de possíveis usos do glicerol não refinado, concentrando-se na produção de diferentes produtos químicos, tais como produção de hidrogênio, aditivos de combustíveis e produção de metanol ou etanol, entretanto existem

outros possíveis usos, como na produção de rações animais, co-digestão e co-gaseificação, tratamento de resíduos, entre outros. Porém, dentro dessas possibilidades, a utilização deste subproduto na alimentação animal atraiu maior atenção (Leoneti et al., 2012).

O glicerol bruto, ou glicerina, derivado da fabricação de biodiesel apresenta potencial para uso na alimentação de peixes, devido aos seus níveis adequados de energia, e pode substituir uma parte do milho na alimentação (Mauerwerk et al., 2020). A possibilidade do uso do glicerol bruto em rações tem sido investigada devido ao aumento do preço do milho e à excessiva quantidade de glicerol produzido (Yang et al., 2012).

Nas dietas de não ruminantes, apresenta altas taxas de absorção e é uma boa fonte de energia (Yang et al., 2012), e tem sido relatada como fonte de energia com bom potencial para a tilápia do Nilo (Meurer et al., 2012; Neu et al., 2012, Costa et al., 2015; Gonçalves et al., 2015; Meurer et al., 2016; Moesch et al., 2016; Santos et al., 2019), carpa comum (Fernandes et al., 2016), bagre do canal (Li et al., 2010), jundiá (Theisen et al., 2019), pacu (Balén et al., 2014) e curimatá (Balén et al., 2017).

A necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias que possam viabilizar a manutenção de espécies nativas gerou um aumento na produção da pesquisa brasileira, principalmente no que diz respeito à estudos sobre a alimentação e nutrição, já que os gastos com o alimento podem atingir até 60% do custo total da produção (Abimorad e Carneiro, 2007).

O jundiá (*Rhamdia quelen*) é uma espécie de interesse para aquicultura no Brasil, Argentina e Uruguai (Salhi e Bessonart, 2011). Estudos mencionam características positivas para a espécie ser utilizada na piscicultura como, aceitar ração nas primeiras alimentações (Salhi e Bessonart, 2011), rusticidade, docilidade, crescimento acelerado (Fracalossi et al., 2008), suportar baixas temperaturas e apresentar taxas de crescimento rápido no verão (Pereira et al., 2006), fácil reprodução (Sividanés et al., 2012), boa eficiência alimentar (Freitas et al., 2011), características organolépticas desejáveis, boa apreciação pelo mercado consumidor e características propícias para o processamento (Manske et al., 2011).

O atual aumento na produção de biocombustíveis origina um grande excedente de glicerol bruto e seu uso na formulação de rações de peixes pode reduzir custos e melhorar os lucros de ambas as cadeias produtivas (Balén et al., 2014). O jundiá apresenta potencial na piscicultura comercial e, portanto, o conhecimento sobre os ingredientes utilizados para a sua alimentação é essencial (Santos e Meurer, 2018). Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do glicerol bruto, em substituição ao milho, na alimentação de alevinos do jundiá (*R. quelen*) e seus efeitos sobre o desempenho zootécnico e parâmetros sanguíneos.

2. Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Produção e Reprodução de Peixes (LAPERP) da Universidade Federal do Paraná, setor Palotina e está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Colégio Brasileiro de Experimentação (COBEA) e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA - UFPR), sob o protocolo nº 14/2011-CEUA.

Um total de 1.500 alevinos de jundiá com peso médio inicial de $1,5 \pm 0,03$ g e comprimento médio de $4,89 \pm 0,34$ cm, adquiridos de uma piscicultura comercial do município de Toledo – PR, foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em uma estrutura experimental composta por 30 tanques circulares de polietileno, com volume útil de 1.000 L cada, ligadas a um filtro mecânico de 2.000 L e um biofiltro de 30.000 L em sistema de recirculação de água, sendo que a biofiltração foi proporcionada pela macrófita *Eichhornia crassipes* (Henry-Silva & Camargo, 2006). A circulação de água nas caixas foi proporcionada por uma motobomba com vazão de 7.300 L/h, realizando cerca de 6 trocas do volume total das caixas ao dia. O sistema de oxigenação da água era composto por um soprador de ar de 1 cv de potência, ligado por meio de tubulações de PVC a mangueiras com pedra porosa na extremidade, uma por unidade experimental.

O trabalho teve duração de 75 dias e foi composto por 6 tratamentos (0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de substituição do milho pelo glicerol bruto) e 4 repetições. Os tratamentos consistiram em dietas isoprotéicas, contendo 36% de proteína bruta (PB) e isoenergéticas, contendo 3.000 kcal/kg de energia digestível (ED). Os valores de digestibilidade dos alimentos utilizados para a formulação das dietas foram descritos por Oliveira Filho e Fracalossi (2006) e Balen et al., (2014). Os valores centesimais de proteína bruta, extrato etéreo, umidade e cinzas foram obtidos seguindo os métodos descritos no AOAC (1995).

Para a produção das rações experimentais, os ingredientes utilizados foram moídos individualmente em triturador tipo facas, com peneira de 0,5 mm (Hayashi et al., 1999), misturados de acordo com sua formulação (Tabela 1), peletizados e armazenados sob refrigeração (Meurer et al., 2003).

Tabela 1. Composição alimentar das dietas experimentais contendo níveis crescentes de glicerol, fornecidas para alevinos de jundiá

Alimentos (%)	Substituição do milho pelo glicerol na dieta (%)					
	0	20	40	60	80	100
Farelo de soja	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00
Farinha de peixe	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Milho	7,50	6,00	3,00	3,00	1,50	0,00
Glicerol bruto	0,00	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50
Micro celulose	2,40	1,99	2,66	1,16	0,75	0,33
Óleo de soja	0,13	0,53	1,33	1,33	1,73	2,13
Premix vitamínico mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Fosfato bicálcico	0,46	0,47	0,50	0,50	0,51	0,53
Butil Hidroxi Tolueno	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nutrientes (composição calculada % com base na matéria seca)						
Ácido linoleico	0,82	1,00	1,14	1,38	1,57	1,75
Amido	8,33	7,45	6,51	5,57	4,63	3,69
Cálcio	0,77	0,86	0,96	1,05	1,14	1,24
Matéria mineral	6,58	6,65	6,72	6,79	6,87	6,94
Energia digestível (kcal/Kg ⁻¹)	3200,00	3200,00	3200,00	3200,00	3200,00	3200,00
Energia bruta (kcal/Kg ⁻¹)	4070,63	4105,13	4130,19	4174,14	4208,60	4243,15
Gordura	2,83	3,16	3,40	3,83	4,17	4,50
Fibra bruta	6,34	6,11	5,87	5,64	5,32	5,06
Fósforo total	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Lisina total	2,65	2,65	2,64	2,64	2,64	2,64
Metionina+Cisteína total	1,30	1,29	1,29	1,28	1,28	1,27
Proteína bruta	44,44	44,31	44,17	44,04	43,90	43,77
Proteína digestível	39,70	39,70	39,70	39,70	39,70	39,70

¹ Complemento vitamínico e mineral com níveis de garantia por quilograma do produto: vit. A - 1.000.000 UI; vit. D3 - 500.000 UI; vit. E - 20.000 mg; vit. K3 - 500 mg; vit. B1 - 1.900 mg; vit. B2 - 2.000 mg; vit. B6 - 2.400 mg; vit. B12 - 3.500 mg; ácido fólico - 200 mg; pantotenato de cálcio - 4.000mg; vit. C - 25 g; biotina - 40 mg; niacina - 5.000 mg; Fe - 12,5 g; Cu - 2.000 mg; Mn - 7.500 mg; Zn - 25 g; I - 200 mg; Se - 70 mg.

Os peixes foram alimentados até saciedade aparente três vezes ao dia (7:30h; 12:00h; 17:30h) e, a cada 7 dias, 30 minutos após a primeira alimentação do dia, as unidades experimentais foram sifonadas para retirada de resíduos depositados no fundo. Parâmetros físicos e químicos da água foram acompanhados durante todo o período experimental. Temperatura e oxigênio dissolvido foram mensurados diariamente, no período da manhã e no fim da tarde, após as alimentações, enquanto que pH, amônia total, nitrato, nitrito, alcalinidade e dureza foram analisados uma vez por semana, de acordo com as metodologias descritas em APHA (2005).

Os parâmetros físicos e químicos de qualidade de água mantiveram-se dentro dos valores indicados para a criação do jundiá. A temperatura média da água pela manhã foi de

$23,40 \pm 1,51^{\circ}\text{C}$, enquanto que a temperatura média da tarde foi de $27,60 \pm 1,84^{\circ}\text{C}$, ficando dentro do limite de conforto térmico para a espécie ($15\text{-}34^{\circ}\text{C}$), sendo que a mesma é considerada uma espécie euritérmica (Gomes et al., 2000). O valor médio de oxigênio dissolvido obtido no período da manhã foi de $6,19 \pm 0,71 \text{ mg L}^{-1}$ e no período da tarde foi de $6,51 \pm 1,12 \text{ mg L}^{-1}$, sendo superior ao valor mínimo recomendado para alevinos desta espécie, que é de $5,20 \text{ mg L}^{-1}$, ou 65,60% de saturação (Braun et al., 2006).

Os valores de pH verificados foram de $7,62 \pm 0,09$; amônia total de $0,04 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$; nitrato de $2,38 \pm 0,31 \text{ mg L}^{-1}$; nitrito de $0,43 \pm 0,32 \text{ mg L}^{-1}$; alcalinidade de $113,51 \pm 27,58 \text{ mg L}^{-1}$; e dureza de $54,53 \pm 14,85 \text{ mg L}^{-1}$ e estão de acordo com o preconizado para a criação da espécie (Baldisserotto, 2009).

Ao final do período experimental, os animais foram mantidos em jejum por 24 horas para o esvaziamento do trato gastrointestinal, e após este período, foram imersos em solução de água com óleo de cravo (50 mg L^{-1}), para a indução da anestesia (Cunha et al., 2010).

Inicialmente, coletou-se o sangue de três indivíduos de cada unidade experimental, escolhidos aleatoriamente, previamente anestesiados (como descrito anteriormente). As amostras de sangue foram obtidas por meio de punção caudal e o sangue colhido foi centrifugado em microtubos de 2 ml, a 3600 rpm por 10 minutos, para separação do plasma, e foram armazenados em geladeira até o momento das análises. Os parâmetros sanguíneos analisados foram: transaminase glutâmica oxalacética (TGO), transaminase glutâmica pirúvica (TGP), colesterol, triglicerídeos, cálcio, proteínas totais, fosfatase alcalina e glicose. Utilizou-se *kits* comerciais da marca Vida Biotecnologia® para a realização das análises e as leituras das absorbâncias foram feitas em Analisador Bioquímico Automático (Modelo BS 120, da Mindray).

Posteriormente, foram realizadas medidas de desempenho zootécnico individual de todos os animais: peso (g), comprimento total (cm), comprimento padrão (cm), tamanho da cabeça (cm), altura (cm) e largura (cm). Ao término das medidas morfométricas externas, oito indivíduos de cada unidade experimental foram eutanasiados com superdosagem anestésica (500 mg L^{-1}), eviscerados e limpos para obtenção dos dados de rendimento de carcaça sem cabeça (RC): $(\text{peso eviscerado}/\text{peso final}) \times 100$; e de tronco limpo (TL): $(\text{peso tronco limpo}/\text{peso final})$. Os hepatopâncreas de três destes animais foram removidos e pesados, para calcular o índice hepatossomático (IH): $(\text{peso do hepatopâncreas}/\text{peso final}) \times 100$. Também foram calculados ganho de peso (GP): $\text{peso final} - \text{peso inicial}$; taxa de crescimento

específico (TCE): $\{[\log_n(\text{Peso final}) - \log_n(\text{Peso inicial})] / \text{período} \times 100$; conversão alimentar aparente (CAA): quantidade de alimento consumido / ganho de peso; taxa de eficiência proteica (TEP): ganho de peso / quantidade de proteína consumida; eficiência alimentar: (ganho de peso/consumo) $\times 100$; e fator de condição (FT): $(\text{Peso final} \times 100) / (\text{Comprimento total}^3)$.

As médias de todos os parâmetros avaliados entre os tratamentos foram submetidas aos testes de homocedasticidade (Levene) e de normalidade (Shapiro-Wilks). E, posteriormente, à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade utilizando o software Statistica 7.0® (Statsoft, Tulsa, OK, USA) sendo os valores foram expressos como média \pm desvio padrão. Quando constatadas diferenças significativas entre as médias ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey. Análise de regressão também foi realizada para determinar as relações entre os tratamentos.

3. Resultados

Os parâmetros morfométricos e a sobrevivência dos jundiás submetidos a dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão apresentados na Tabela 2. A substituição do milho pelo glicerol não influenciou ($p>0,05$) os parâmetros de peso final, ganho de peso, comprimento total, comprimento padrão, largura, altura e sobrevivência dos alevinos de jundiá.

Tabela 2. Parâmetros morfométricos de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Peso inicial (g) ¹	1,52±0,03	1,48±0,04	1,51±0,04	1,50±0,05	1,50±0,04	1,51±0,04	0,82
Peso final (g) ²	39,37±1,19	37,59±1,30	37,70±6,56	40,42±0,84	43,99±3,83	36,96±0,89	0,09
Ganho de peso (g) ²	37,85±1,18	36,11±1,35	36,19±6,57	38,93±0,84	41,09±3,16	35,45±0,90	0,09
Comprimento total (cm) ²	15,96±0,13	15,60±0,22	15,52±0,88	15,96±0,10	16,34±0,43	15,42±0,27	0,07
Comprimento padrão (cm) ²	12,79±0,07	12,59±0,14	12,51±0,72	12,94±0,13	14,38±2,50	12,45±0,26	0,17
Comprimento de cabeça (cm) ²	3,59±0,07	3,41±0,17	3,47±0,15	3,34±0,26	3,47±0,19	3,54±0,02	0,50
Altura (cm) ²	2,78±0,21	2,51±0,27	2,61±0,18	2,51±0,10	2,55±0,14	2,71±0,30	0,23
Largura (cm) ²	2,31±0,11	2,16±0,05	2,26±0,13	2,20±0,12	2,27±0,11	2,38±0,06	0,18
Sobrevivência (%) ²	91,00±7,57	80,50±11,36	78,00±17,51	89,00±5,77	78,50±22,05	79,00±14,09	0,66

¹ Cinquenta peixes por unidade experimental, totalizando 200 animais por tratamento

² Todos os peixes sobreviventes das unidades experimentais de cada tratamento

Os parâmetros de desempenho zootécnico dos jundiás submetidos a dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão apresentados na Tabela 3. A substituição do milho pelo glicerol não influenciou ($p>0,05$) nos valores dos parâmetros de

rendimento de carcaça sem cabeça, rendimento de tronco limpo, taxa de crescimento específico, índice hepatossômático, conversão alimentar aparente, eficiência alimentar, fator de condição e taxa de eficiência proteica dos alevinos de jundiá.

Tabela 3. Parâmetros de desempenho zootécnico de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						p-value
	0	20	40	60	80	100	
Rendimento de carcaça sem cabeça (%) ²	52,57±1,72	53,58±0,64	52,45±1,15	51,41±2,94	53,07±0,87	52,87±2,90	0,75
Rendimento tronco limpo (%) ²	24,36±5,12	24,29±2,31	29,21±0,84	27,91±2,39	25,77±5,16	26,11±1,65	0,38
Taxa de crescimento específico (%/dia) ¹	4,17±0,05	4,19±0,13	4,11±0,26	4,18±0,09	4,33±0,11	4,07±0,07	0,22
Índice hepatossômático (%) ²	1,91±0,07	2,07±0,48	2,05±0,41	1,97±0,08	2,04±0,27	2,22±0,19	0,78
Conversão alimentar aparente ¹	1,65±0,17	1,40±0,15	1,64±0,29	1,53±0,19	1,37±0,35	1,67±0,15	0,29
Eficiência alimentar ¹	67,92±7,02	81,65±2,80	73,97±3,74	74,27±9,38	84,36±19,94	70,17±7,77	0,24
Fator de condição ¹	0,97±0,02	0,98±0,03	1,00±0,01	0,98±0,04	1,01±0,04	1,01±0,05	0,11
Taxa de eficiência proteica ¹	1,87±0,19	2,26±0,08	2,06±0,10	2,06±0,26	2,35±0,56	1,96±0,22	0,23

¹ Parâmetros analisados usando todos os peixes que sobreviveram aos tratamentos

² Três peixes por unidade experimental, totalizando 12 animais por tratamento

Os parâmetros sanguíneos dos jundiás submetidos a dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão apresentados na Tabela 4. A taxa de glicose plasmática dos alevinos de jundiá foi influenciada ($p < 0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol, sendo que o menor valor de glicose sanguínea foi observada no nível de 60% de substituição, o maior com 20% de substituição e os demais tratamentos não divergiram entre si. A substituição do milho pelo glicerol não influenciou ($p > 0,05$) nos valores dos parâmetros sanguíneos de cálcio, colesterol, fosfatase alcalina, proteínas totais, transaminase glutâmica oxalacética, transaminase glutâmica pirúvica e triglicerídeos.

Tabela 4. Parâmetros sanguíneos de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta

Variáveis ¹	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Cálcio (mg dl ⁻¹)	14,27±0,15	13,25±1,77	12,08±1,61	14,28±0,98	14,18±0,25	12,94±1,51	0,17
Colesterol (mg dl ⁻¹)	155,54±8,33	174,50±15,78	165,50±42,02	159,22±4,53	167,92±26,18	149,17±23,23	0,73
Fosfatase alcalina (mg dl ⁻¹)	77,08±4,57	81,79±7,80	82,00±17,90	66,06±3,81	79,00±1,45	77,42±5,74	0,30
Glicose (mg dl ⁻¹) *	170,98±18,99ab	205,93±35,05a	202,70±55,40ab	135,37±21,18b	171,68±23,37ab	184,58±11,76ab	0,04
Proteínas totais (g dl ⁻¹)	3,83±0,24	4,06±0,27	3,76±0,15	3,72±0,13	3,79±0,41	3,99±0,13	0,30
Transaminase glutâmica oxalacética (UI ⁻¹)	91,40±16,99	154,11±77,27	114,76±6,93	108,23±38,48	89,28±13,68	166,62±99,49	0,30
Transaminase glutâmica pirúvica (UI ⁻¹)	12,63±1,70	16,11±7,00	17,95±5,51	12,83±4,81	11,88±3,47	18,49±10,03	0,51
Triglicerídeos (mg dl ⁻¹)	495,92±141,01	580,58±34,96	584,00±163,64	588,92±94,50	550,83±69,26	527,67±151,44	0,85

¹ Foram analisadas amostras de sangue de três peixes por unidade experimental, totalizando 12 animais por tratamento.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4. Discussão

O jundiá apresenta bom potencial para a aquicultura, principalmente nas regiões mais frias do Brasil (Grigio e Meurer, 2020) e a avaliação de ingredientes alternativos é importante para o desenvolvimento de sua cadeia produtiva. No entanto, estudos relacionados ao metabolismo energético dessa espécie também são necessários.

A substituição do milho por níveis crescentes de glicerol bruto de até 100 % na dieta de alevinos de jundiá, não afetou parâmetros morfométricos e de desempenho desses animais, o que corrobora com os resultados encontrados para pós-larvas de *R. branneri* e *R. voulezi* alimentados com dieta contendo 42,9% de proteína bruta, 3,600 kcal/kg de energia digestível e seis níveis de substituição do milho pelo glicerol (0; 2,2; 4,4; 6,6 e 8,8%) (Theisen et al., 2019). O glicerol bruto produzido a partir do biodiesel apresenta bom potencial de utilização como substituto de outros ingredientes energéticos na dieta de jundiá, pois apresenta energia digestível de 3332 kcal/kg (Balén et al., 2014), superior ao encontrado para o milho e quirera de arroz (Oliveira Filho e Fracalossi, 2006), farelo de trigo (Rodrigues et al., 2012) e resíduo de mandioca (Gominho-Rosa et al., 2015).

Resultados semelhantes também foram encontrados para o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*), onde a inclusão de até 10% de glicerol não apresentou efeitos adversos no consumo de ração, ganho de peso, eficiência alimentar e índice hepatossômico (Li et al., 2010), tilápia do Nilo no período de reversão sexual, onde a inclusão de até 11% de glicerol na dieta não afetou o desempenho e mortalidade (Meurer et al., 2016), e alevinos de tilápia do Nilo, onde a substituição total do milho pelo glicerol bruto, como fonte de energia na dieta, não afetou o peso final, rendimento de carcaça, rendimento de tronco, taxa de crescimento específico, comprimento total e padrão, comprimento da cabeça, altura e largura (Moesch et al., 2016).

Entretanto, em teste com diferentes níveis de inclusão do glicerol na dieta de larvas de carpa comum (*Cyprinus carpio*), observou-se diferenças significativas ($P < 0,05$) para todos os parâmetros zootécnicos dos animais, sendo que a inclusão de 10% de glicerol proporcionou maior peso final, comprimento final, ganho de peso, taxa de crescimento específico e fator de condição, porém o mesmo tratamento apresentou os piores resultados de sobrevivência (Fernandes et al., 2016).

O jundiá é classificado como onívoro, com tendência a carnivorismo, devido a sua preferência por peixes, crustáceos, insetos, restos de plantas e detritos orgânicos

(Broggi et al., 2017), tem intestino curto e alta exigência de proteína na dieta (Meyer e Fracalossi, 2004). Os resultados obtidos para alevinos de jundiá alimentados com dietas contendo até 100% de substituição de milho pelo glicerol demonstram que, mesmo esta espécie tendo características do trato intestinal e de preferência alimentar diferentes, quando comparados a outros onívoros, como a tilápia do Nilo e o bagre do canal, apresenta a capacidade de utilizar o glicerol eficientemente, sem afetar seu crescimento e desempenho zootécnico, sugerindo que o jundiá apresenta um mecanismo para adaptar seu perfil de enzimas digestivas de acordo com a dieta ingerida (Moro et al., 2010).

A inclusão do glicerol na dieta não apresentou efeito sobre o índice hepatossomático, assim como já descrito para o curimatã, evidenciando que esse órgão não foi sobrecarregado pelo processo de metabolização dos nutrientes absorvidos, com a consequente deposição de lipídeos ou de glicogênio, nem pela toxicidade de algum componente da dieta (Balén et al., 2017). Esses resultados contrariam os observados para o bagre do canal, que teve índice hepatossomático aumentados em peixes alimentados com dieta contendo nível superior a 10% de inclusão do glicerol (Li et al., 2010).

Os valores obtidos para todos os parâmetros sanguíneos analisados estão de acordo com os descritos para a espécie (Borges et al., 2004). Entretanto, a taxa de glicose plasmática foi afetada pela inclusão do glicerol na dieta. É possível que o glicerol presente na dieta não tenha sido convertido em glicose nem em triglicerídeos, mas direcionado para o ciclo de Krebs, constituindo-se, efetivamente, em fonte de energia dietética para estes animais (Balén et al., 2017). Entretanto, são necessários mais estudos para verificar o efeito do glicerol bruto em substituição ao milho, no metabolismo energético de alevinos de jundiá.

O glicerol pode ser utilizado em diferentes rotas metabólicas. Após absorvido, pode ser oxidado diretamente no ciclo do ácido cítrico, servir para a gliconeogênese ou na via da pentose fosfato (Costa et al., 2017), competindo efetivamente com outros precursores gliconeogênicos endógenos e, consequentemente, poupando o catabolismo de aminoácidos dietéticos e a geração de resíduos nitrogenados, deixando-os mais disponíveis para outras funções fisiológicas, como o crescimento (Rito et al., 2018). Um dos fatores que devem ser levados em consideração em experimentos com a substituição do milho pelo glicerol, é que a fonte energética que está sendo substituída pelo glicerol é o amido. Apesar de poucos estudos em relação à utilização do amido pelo jundiá, deve

ser destacado que a digestão do amido e o consequente metabolismo da glicose em peixes não apresenta a mesma eficiência que em aves e mamíferos.

O jundiá é um peixe que apresenta um bom potencial para a aquicultura, principalmente em regiões mais frias do Brasil (Grigio e Meurer, 2020) e a avaliação de ingredientes alternativos é importante para o desenvolvimento da sua cadeia produtiva. Porém, verifica-se também a importância de estudos relativos ao metabolismo energético desta espécie.

Conclui-se que alevinos de jundiá tem a capacidade de utilizar o glicerol bruto como ingrediente energético em suas rações em até 7,5% de inclusão ou até substituição total do milho, sem afetar parâmetros morfométricos, de desempenho ou causar prejuízo a sua saúde.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e financiado pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico através do Programa de Apoio a Núcleos Emergentes – PRONEM (23/2012). Fábio Meurer agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa nível 2 e Izabel Volkweis Zadinelo agradece pela bolsa de pós-doutorado CAPES código de financiamento 001.

Referências

- Ayoub, M., Abdullah, A.Z., 2012. Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2671–2686. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.054>
- Balen, R.E., Bueno Junior, G., Colpini, L.M.S., Bombardelli, R.A., da Silva, L.C.R., Meurer, F., 2017. Energia digestível e inclusão da glicerina bruta em dietas para juvenis de curimatá. *Bol. do Inst. Pesca* 43, 347–357. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p347>
- Balen, R.E., Tetu, P.N., Bombardelli, R.A., Pozza, P.C., Meurer, F., 2014. Digestible energy of crude glycerol for pacu and silver catfish. *Ciência Rural* 44, 1448–1451. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131426>
- Barcellos, L.J.G., Kreutz, L.C., Quevedo, R.M., Fioreze, I., Cericato, L., Soso, A.B., Fagundes, M., Conrad, J., Baldissera, R.K., Bruschi, A., Ritter, F., 2004. Nursery

- rearing of jundiá, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard) in cages: Cage type, stocking density and stress response to confinement. *Aquaculture* 232, 383–394. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00545-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00545-3)
- Bernardino, V.M.P., Rodrigues, P.B., Paula Naves, L., Zangeronimo, M.G., Alvarenga, R.R., Rosa, P. V., Santos, L.M., Teixeira, L. V., 2014. Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 98, 559–568. <https://doi.org/10.1111/jpn.12113>
- Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura, 2011. REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL Presidenta Dilma Vana Rousseff. Bol. Estatístico Da Pesca E Aquicultura 2011 1–60.
- Borges, A., Scotti, L. V., Siqueira, D.R., Jurinitz, D.F., Wassermann, G.F., 2004. Hematologic and serum biochemical values for jundiá (*Rhamdia quelen*). *Fish Physiol. Biochem.* 30, 21–25. <https://doi.org/10.1007/s10695-004-5000-1>
- Borges Neto, P.G., Dutra, F.M., Ballester, E.L.C., Portz, L., 2013. Growth and survival of silver catfish, *R. quelen*, larvae fed enriched live food and artificial diet. *Rev. Bras. Ciência Veterinária* 20, 216–221. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2014.011>
- Braun, N., Lima, R.L. de, Moraes, B., Loro, V.L., Baldisserotto, B., 2006. Survival, growth and biochemical parameters of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824), juveniles exposed to different dissolved oxygen levels. *Aquac. Res.* 37, 1524–1531. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01589.x>
- Broggi, J.A., Wosniak, B., Uczay, J., Pessatti, M.L., Fabregat, T.E.H.P., 2017. Hidrolisado proteico de resíduo de sardinha como atrativo alimentar para juvenis de jundiá. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 69, 505–512. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8348>
- Cervantes-Godoy, D., Dewbre, J., PIN, Amegnaglo, C.J., Soglo, Y.Y., Akpa, A.F., Bickel, M., Sanyang, S., Ly, S., Kuiseu, J., Ama, S., Gautier, B.P., Officer, E.S., Officer, E.S., Eberlin, R., Officer, P., Branch, P.A., Oduro-ofori, E., Aboagye Anokye, P., Acquaye, N.E.A., Dandelar, V.M., Mineo, J., FAO, F. and A.O. of the U., IFAD, WFP, Fadipe A.E.A., *Amolegbe K.B. and Afun O.O., Ganiev, I., Maguire, C., Hoover, T.S., Scanlon, D.C., FAO, F. and A.O. of the U., Singh, K.M., Meena, M.S., Swanson, B.E., 2014. The future of food and agriculture: trends and challenges. *Futur. food Agric. trends challenges* 4, 1951–1960.
- Costa, D.V. da, Paulino, R.R., Okamura, D., De Oliveira, M.M., E Rosa, P.V., 2015. Growth and energy metabolism of Nile tilapia juveniles fed glycerol. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 50, 347–354. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500001>
- Cunha, M.A. da, Zeppenfeld, C.C., Garcia, L. de O., Loro, V.L., da Fonseca, M.B., Emanuelli, T., Veeck, A.P. de L., Copattia, C.E., Baldisserotto, B., 2010. Anesthesia of silver catfish with eugenol: Time of induction, cortisol response and sensory analysis of fillet. *Cienc. Rural* 40, 2107–2114. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782010005000154>
- Costa, D.V., Dias, J., Colen, R., Rosa, P.V., Engrola, S., 2017. Partition and metabolic fate of dietary glycerol in muscles and liver of juvenile tilapia. *Arch. Anim. Nutr.*

71, 165–174. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1281579>

- Costa, D.V., Paulino, R.R., Okamura, D., De Oliveira, M.M., E Rosa, P.V., 2015. Growth and energy metabolism of Nile tilapia juveniles fed glycerol. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 50, 347–354. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500001>
- Dalcin, M.O., Pianesso, D., Silva, V.C., Mombach, P.I., Adorian, T.J., Lima, J.S., Goulart, F.R., Silva, L.P., 2018. Concentrado proteico de arroz na alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 70, 306–314. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9730>
- Decarli, J.A., Pedron, F.A., Lazzari, R., Signor, A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2016. Hidrolisados proteicos na alimentação do jundiá (*Rhamdia voulezi*). *Rev. Bras. Ciência Veterinária* 23, 168–173. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2016.051>
- Fabregat, T.E.H.P., Wosniak, B., Gonçalves, A.F.N., Ha, N., Skoronski, E., Pessatti, M.L., 2016. Frações solúveis e insolúveis do hidrolisado proteico de resíduo de sardinha na alimentação do jundiá: Consumo de ração e excreção de amônia. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 68, 1713–1720. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9153>
- FAO. 2020., 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Fernandes, D.R.A., Yamashiro, D., Erzen, J., Bittencourt, F., Boscolo, W.R., Neu, D.H., 2016. Glycerol in the diet of common carp larvae (*Cyprinus carpio*). *Dihego. Uniciências* 20, 11–15.
- Fracalossi, D.M., Meyer, G., Santamaria, F.M., Weingartner, M., Zaniboni Filho, E., 2004. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. *Acta Sci. Anim. Sci.* 26, 345–352. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v26i3.1806>
- Gomes, L. de C., Golombieski, J.I., Gomes, A.R.C., Baldisserotto, B., 2000. Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae). *Ciência Rural* 30, 179–185. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782000000100029>
- Gominho-Rosa, M. do C., Rodrigues, A.P.O., Mattioni, B., de Francisco, A., Moraes, G., Fracalossi, D.M., 2015. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: Digestibility, enzyme activity and starch microstructure. *Aquaculture* 435, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.035>
- Gonçalves, L.U., Cerozi, B. da S., Silva, T.S.C., Zanon, R.B., Cyrino, J.E.P., 2015. Crude glycerin as dietary energy source for Nile tilapia. *Aquaculture* 437, 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.004>
- Gonçalves, A. V., Cezarini, R., 2008. Adding value to freshwater fish: smoking fillets of jundiá (*Rhamdia quelen*). *Rev. Bras. Eng. Pesca* 3, 63–79.
- Grigio, R., Meurer, F., 2020. Alternating Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and silver catfish (*Rhamdia quelen*) farming in recirculation system: A possibility for aquaculture in Southern Brazil. *J. Dev.* 6, 4303–4308. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-057>
- Grigio, R., Silva, L.C.R. da, Mauerwerk, M.T., Colpini, L.M.S., Zanella Júnior, M.C., Meurer, F., 2020. Products and co-products of alternating farming of Nile tilapia

- with jundia. Brazilian J. Anim. Environ. Res. 3, 1679–1696. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-085>
- Li, M.H., Minchew, C.D., Oberle, D.F., Robinson, E.H., 2010. Evaluation of glycerol from biodiesel production as a feed ingredient for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. J. World Aquac. Soc. 41, 130–136. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00320.x>
- Mauerwerk, M.T., Zadinelo, I.V., Meurer, F., 2020. Use of glycerol in fish nutrition : a review. Rev. Aquac. 1–9. <https://doi.org/10.1111/raq.12502>
- Melo, J.F.B., Lundstedt, L.M., Inoue, L.A.K., Metón, I., Baanante, I. V., Moraes, G., 2016. Glycolysis and gluconeogenesis in the liver of catfish fed with different concentrations of proteins, lipids and carbohydrates. Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec. 68, 1251–1258. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8337>
- Melo, J.F.B., Radünz Neto, J., Silva, J.H.S. da, Trombetta, C.G., 2002. DESENVOLVIMENTO e composição corporal de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com dietas contendo diferentes fontes de lipídios. Ciência Rural 32, 321–327. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782002000200023>
- Menton, D.J., Slinger, S.J., Hilton, J.W., 1986. Utilization of free glycerol as a source of dietary energy in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 56, 215–227. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90337-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90337-6)
- Meurer, F., Franzen, A., Piovesan, P., Rossato, K.A., Santos, L.D. Dos, 2012. Apparent energy digestibility of glycerol from biodiesel production for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). Aquac. Res. 43, 1734–1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02974.x>
- Meurer, F., Tovo Neto, A., da Silva, L.C.R., Cagol, L., Theisen, M.T., dos Santos, L.D., 2016. Crude glycerol in diets for Nile tilapia sex reversal (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). Aquac. Res. 47, 2682–2685. <https://doi.org/10.1111/are.12714>
- Mewes, J.K., Meurer, F., Tessaro, L., Buzzi, A.H., Syperreck, M.A., Bombardelli, R.A., 2016. Diets containing crude glycerin damage the sperm characteristics and modify the testis histology of Nile tilapia broodstock. Aquaculture 465, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.035>
- Meyer, G., Fracalossi, D.M., 2004. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. Aquaculture 240, 331–343. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.034>
- Moesch, A., Meurer, F., Zadinelo, I.V., Carneiro, W.F., Silva, L.C.R. da, Santos, L.D. dos, 2016. Growth, body composition and hepatopancreas morphology of Nile tilapia fingerlings fed crude glycerol as a replacement for maize in diets. Anim. Feed Sci. Technol. 219, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.009>
- Neu, D.H., Furuya, Wilson Massamitu Yamashiro, D., Bittencourt, F., Moro, E.B., Fernandes, D.R.A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2012a. Glycerol in the diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. Rev. Agrar. 4, 288–294.
- Neu, D.H., Furuya, W.M., Boscolo, W.R., Potrich, F.R., Lui, T.A., Feiden, A., 2013. Glycerol inclusion in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. Aquac. Nutr. 19, 211–217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00968>

- Neu, D.H., Furuya, W.M., Yamashiro, D., Moro, E.B., Fernandes, D.R.A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2012b. Glicerol na dieta de alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Rev. Agrar. 5, 288–294.
- Oliveira Filho, P.R.C. De, Fracalossi, D.M., 2006. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients for jundia juveniles. Rev. Bras. Zootec. 35, 1581–1587.
- Palma, M., Tavares, L.C., Rito, J., Henriques, L.F., Silva, J.G., Ozório, R., Pardal, M.A., Magnoni, L.J., Viegas, I., 2019. Metabolic effects of dietary glycerol supplementation in muscle and liver of european seabass and rainbow trout by 1H NMR metabolomics. Metabolites 9, 1–15. <https://doi.org/10.3390/metabo9100202>
- Panserat, S., Plagnes-juan, E., Gazzola, E., Palma, M., Magnoni, L.J., Marandel, L., Viegas, I., 2020. Hepatic glycerol metabolism-related genes in carnivorous rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Insights into molecular characteristics, ontogenesis, and nutritional regulation. Front. Physiol. 11, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00882>
- Rito, J., Viegas, I., Pardal, M., Metón, I., Baanante, I. V., Jones, J.G., 2019. Utilization of glycerol for endogenous glucose and glycogen synthesis in seabass (*Dicentrarchus labrax*): A potential mechanism for sparing amino acid catabolism in carnivorous fish. Aquaculture 498, 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.066>
- Rodrigues, A.P.O., Gominho-Rosa, M.D.C., Cargnin-Ferreira, E., de Francisco, A., Fracalossi, D.M., 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquac. Nutr. 18, 65–72. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x>
- Rossato, S., Maschio, D., Martinelli, S.G., Nunes, L.M. da C., Radünz Neto, J., Lazzari, R., 2018. Fish meal obtained from the processing of *Rhamdia quelen*: An alternative protein source. Bol. do Inst. Pesca 44, 1–9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.44.4.350>
- Salhi, M., Bessonart, M., 2011. Growth, survival and fatty acid composition of *Rhamdia quelen* (Quoy and Gaimard, 1824) larvae fed on artificial diet alone or in combination with *Artemia* nauplii. Aquac. Res. 44, 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03004.x>
- Santos, H.K. dos, Meurer, F., 2018. Nutrition and feeding aspects for jundiá (*Rhamdia quelen*). Rev. Aquac. 12, 1–11. <https://doi.org/10.1111/raq.12318>
- Santos, L.D. dos, Zadinelo, I.V., Moesch, A., Bombardelli, R.A., Meurer, F., 2019. Crude glycerol in diets for Nile tilapia in the fattening stage. Pesqui. Agropecu. Bras. 54, 1–10. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2019.V54.00460>
- Schulter, E.P., Filho, J.E.R.V., 2017. Evolução da piscicultura no brasil: Diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. Inst. Pesqui. Econômica Apl. - ipea 42.
- Signor, A., Feiden, A., Boscolo, W., Signor, A., Gonçalves, G., Sary, C., Klein, S., 2013. Eventos reprodutivos do jundiá *Rhamdia voulezi* cultivado em tanques-rede. Rev. Bras. Reprodução Anim. 37, 272–277.

- Silva, J.A.M. da, Pereira-Filho, M., Cavero, B.A.S., Oliveira-Pereira, M.I. de, 2007. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia de ração suplementada com enzimas digestivas exógenas para juvenis de tambaqui (*Colosssoma macropomum* Cuvier, 1818). *Acta Amaz.* 37, 157–164. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672007000100021>
- Silva, T.S., Matos, E., Cordeiro, O.D., Colen, R., Wulff, T., Sampaio, E., Sousa, V., Valente, L.M.P., Gonçalves, A., Silva, J.M.G., Bandarra, N., Nunes, M.L., Dinis, M.T., Dias, J., Jessen, F., Rodrigues, P.M., 2012. Dietary tools to modulate glycogen storage in gilthead seabream muscle: Glycerol supplementation. *J. Agric. Food Chem.* 60, 10613–10624. <https://doi.org/10.1021/jf3023244>
- Theisen, M.T., Bombardelli, R.A., Meurer, F., Ferreira, R.L., da Silva, L.C.R., 2019. Crude glycerol inclusion in diets for post-larvae *Rhamdia voulezi* and *Rhamdia branneri*. *Aquac. Res.* 51, 1313–1316. <https://doi.org/10.1111/are.14465>
- Tusche, K., Arning, S., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 2012. Wheat gluten and potato protein concentrate - Promising protein sources for organic farming of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 344–349, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.009>
- Vieira Filho, J.E.R., Fishlow, A., 2017. Agricultura e Indústria no Brasil: inovação e competitividade, Ipea.
- Weiler, K.A., Pessini, J.E., Sanchez, M.S.S., Rodrigues, M.L., Boscolo, W.R., Pezzato, L.E., Bittencourt, F., Signor, A., 2019. Sunflower meal with and without phytase supplementation in diets for silver catfish (*Rhamdia quelen*) juveniles. *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.* 32, 285–297. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v32n4a04>
- Yang, F., Hanna, M.A., Sun, R., 2012. Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production. *Biotechnol. Biofuels* 5, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-13>

5 CAPÍTULO 3: Desempenho produtivo, composição corporal e parâmetros sanguíneos de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com ração contendo glicerol bruto em substituição ao milho

Capítulo submetido à revista *Aquaculture Research*

Qualis CAPES (Biodiversidade 2013-2016): B1

Autores: Marlise Teresinha Mauerwerk, Izabel Volkweis Zadinelo, Rafaela Mochinski Gonçalves, Rafael Ernesto Balen, Lilian Dena dos Santos, Fábio Meurer

Resumo: O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre o desempenho produtivo, composição química da carcaça e parâmetros sanguíneos de juvenis de jundiá. Um total de 600 juvenis de jundiá foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, composto por seis dietas isoprotéicas e isoenergéticas peletizadas com seis níveis de substituição do milho pelo glicerol bruto e cinco repetições. A substituição do milho pelo glicerol influenciou significativamente ($p < 0,05$) o peso final, a produção de tronco limpo e o rendimento de carcaça sem cabeça, com os maiores valores para ambos os parâmetros observados no tratamento de substituição de 100%, significativamente diferentes em relação ao tratamento de substituição de 0%. A conversão alimentar aparente exibiu uma melhora linear ($p < 0,05$) com o aumento da substituição de glicerol. O fator de condição aumentou linearmente ($p < 0,05$) com o aumento da substituição de glicerol. As concentrações plasmáticas de cálcio, fosfatase alcalina, glicose, proteínas totais, oxalacética e transaminase glutâmica pirúvica não foram influenciadas ($p > 0,05$) pelos tratamentos dietéticos, tampouco proteína bruta e matéria mineral ($p > 0,05$). O glicerol bruto pode ser incluído em até 7,5% nas dietas de juvenis de jundiá ou em até 100% de substituição, pois apresentou melhora nos parâmetros de desempenho e não afetou a saúde dos animais.

Palavras-chave: Biodiesel; Fonte energética; Ingrediente alternativo; Nutrição de peixes; Peixe.

1. Introdução

O jundiá é uma espécie promissora, com boas taxas de sobrevivência, rápido crescimento e desenvolvimento (Melo et al., 2016), aceita bem as rações formuladas com os mais diversos ingredientes (Barcellos et al., 2004), consegue ingerir dieta formulada desde o início da alimentação exógena (Borges Neto et al., 2013). É prateado classificado como onívoro, com tendência à carnívoro, devido à sua preferência por peixes, crustáceos, insetos, restos de plantas e detritos orgânicos (Broggi et al., 2017), e apresenta intestino curto e alta necessidade de proteína na dieta (Meyer e Fracalossi, 2004).

Essa espécie apresenta grande potencial para cultivo no sul do Brasil, Argentina e Uruguai (Salhi and Bessonart, 2011), uma vez que continua a se alimentar e ganhar peso mesmo em baixas temperaturas durante os meses de inverno (Signor et al., 2013). Nos

últimos anos, houve um aumento na demanda pelo jundiá cultivado (Rossato et al., 2018), devido à sua carne saborosa e ausência de espinhas intramusculares (Baldiasserotto et al., 2010). Entretanto, estudos sobre a nutrição e o manejo alimentar dessa espécie ainda são escassos e são fundamentais para consolidar seu cultivo em cativeiro (Fabregat et al., 2016; Santos e Meurer, 2018).

Aliado ao aumento da produção de organismos aquáticos está a crescente demanda por rações aquícolas de qualidade que atendam às exigências nutricionais dos peixes e permitam o aumento na produtividade de espécies de valor econômico, com menor impacto ambiental (Silva et al., 2007). Quando se pensa em rações para peixes muitas vezes, principalmente para os carnívoros, ou os que tendem a este hábito alimentar, geralmente se pensa em farinha de peixe e fontes proteicas. Entretanto, apesar da proteína da dieta ser uma fonte também de energia, a sua economia apresenta aspectos importantes para o desempenho do peixe, tanto do ponto de vista metabólico, quanto do ambiental.

A utilização de fontes energéticas como o milho, bem como outros ingredientes contendo concentrações consideráveis de amido são praticadas em várias fábricas de ração. Entretanto, a estabilidade de produção destes ingredientes, o seu alto custo e a busca constante de melhorar o crescimento de peixes reduzindo os custos de produção, visando uma aquicultura sustentável, tem dado especial atenção a utilização de produtos alternativos, como é o caso do glicerol bruto, derivado da produção do biodiesel (Panserat et al., 2020).

O biodiesel é um combustível alternativo e renovável promissor. À medida que sua produção aumenta, o mesmo ocorre com a produção do seu principal co-produto, o glicerol bruto, sendo que a utilização eficaz do glicerol bruto contribuirá para a viabilidade econômica e ambiental da cadeia produtiva do biodiesel (Yang et al., 2012). O glicerol é um subproduto não tóxico, biodegradável, biocompatível e versátil (Ayoub and Abdullah, 2012) e pode ser utilizado como ingrediente na alimentação animal (Yang et al., 2012).

O glicerol é considerado uma fonte de energia com bom potencial para várias espécies de peixes (Mauerwerk et al., 2020). Para a tilápia do Nilo apresenta valores de digestibilidade aparente de energia entre 47 e 89% (Meurer et al., 2012; Neu et al., 2012; Gonçalves et al., 2015; Meurer et al., 2016), para o jundiá 89%, para o pacu, 97% (Balén et al., 2014) e para o curimatá 76% (Balén et al., 2017). Para o jundiá, o glicerol apresenta 13,95 MJ kg⁻¹ de energia digestível (Balén et al., 2014),

O glicerol já foi incluído com sucesso como ingrediente energético nas dietas de várias espécies de peixes como a truta (Menton et al., 1986), bagre do canal (Li et al., 2010), tilápia do Nilo (Neu et al., 2012; Neu et al., 2013; Moesch et al., 2016; Santos et al., 2019), carpa comum (Fernandes et al., 2016) e curimatá (Balen et al., 2017). Mas o nível de inclusão deste ingrediente nas dietas para juvenis de jundiá ainda não foi definido. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da substituição do milho pelo glicerol bruto, derivado da produção de biodiesel, sobre o desempenho zootécnico e parâmetros sanguíneos de juvenis de jundiá.

2. Material e métodos

2.1 Desenho experimental, composição da dieta e qualidade de água

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Sistemas de Produção de Pescado da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina e está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Colégio Brasileiro de Experimentação (COBEA) e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA - UFPR), sob o protocolo nº 14/2011-CEUA.

O experimento teve duração de 118 dias, entre os meses de junho e outubro, os peixes foram alimentados com rações peletizadas isoproteicas (39% de proteína digestível) e isoenergéticas (13,39 MJ kg⁻¹ de energia digestível), e seis níveis de substituição do milho pelo glicerol bruto derivado do biodiesel (0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%). Os ingredientes utilizados foram moídos individualmente em triturador tipo facas, com peneira de 0.5 mm, misturados de acordo com sua formulação (Tabela 1), peletizados e armazenados sob refrigeração e a ração foi oferecida aos animais três vezes ao dia (7:30h; 12:00h; 17:30h), até saciedade aparente.

Tabela 1. Composição alimentar das dietas experimentais contendo níveis crescentes de glicerol, fornecidas para juvenis de jundiá

Alimentos (%)	Substituição do milho pelo glicerol na dieta (%)					
	0	20	40	60	80	100
Farelo de soja	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00
Farinha de peixe	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Milho	7,50	6,00	4,50	3,00	1,50	0,00
Glicerol bruto	0,00	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50
Micro celulose	2,40	1,99	1,66	1,16	0,75	0,33
Óleo de soja	0,13	0,53	0,83	1,33	1,73	2,13
Premix vitamínico mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Fosfato bicálcico	0,46	0,47	0,50	0,50	0,51	0,53
Butil Hidroxi Tolueno	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nutrientes (composição calculada % com base na matéria seca)						
Ácido linoleico	0,82	1,00	1,14	1,38	1,57	1,75
Amido	8,39	7,45	6,51	5,57	4,63	3,69
Cálcio	0,77	0,86	0,96	1,05	1,14	1,24
Matéria mineral	6,58	6,65	6,72	6,79	6,87	6,94
Energia digestível (MJ kg ⁻¹)	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39
Energia bruta (MJ kg ⁻¹)	17,04	17,18	17,29	17,47	17,62	17,76
Gordura	2,83	3,16	3,40	3,83	4,17	4,50
Fibra bruta	6,34	6,11	5,87	5,64	5,32	5,06
Fósforo total	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Lisina total	2,65	2,65	2,64	2,64	2,64	2,64
Metionina+Cisteína total	1,3	1,29	1,29	1,28	1,28	1,27
Proteína bruta	44,44	44,31	44,17	44,04	43,90	43,77
Proteína digestível	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00

¹ Complemento vitamínico e mineral com níveis de garantia por quilograma do produto: vit. A - 1.000.000 UI; vit. D3 - 500.000 UI; vit. E - 20.000 mg; vit. K3 - 500 mg; vit. B1 - 1.900 mg; vit. B2 - 2.000 mg; vit. B6 - 2.400 mg; vit. B12 - 3.500 mg; ácido fólico - 200 mg; pantotenato de cálcio - 4.000mg; vit. C - 25 g; biotina - 40 mg; niacina - 5.000 mg; Fe - 12,5 g; Cu - 2.000 mg; Mn - 7.500 mg; Zn - 25 g; I - 200 mg; Se - 70 mg.

Um total de 600 juvenis de jundiá (20 peixes por tanque, totalizando 100 animais por tratamento) com peso médio inicial de $39,83 \pm 0,09$ g e comprimento total de $16,47 \pm 1,32$ cm foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, composto por 6 tratamentos e 5 repetições, em 30 tanques circulares de polietileno (1.000 L), em sistema de recirculação de água, ligados a um filtro mecânico de 2.000 L e um biofiltro de 30.000 L. A circulação de água nos tanques foi realizada por uma motobomba com vazão de 7.300 L/h, e a oxigenação da água feita por um soprador de ar com potência de 1 cv, ligado por meio de tubulações de PVC a mangueiras com pedras porosas nas extremidades em cada unidade experimental.

Os parâmetros físicos e químicos da água de cultivo foram acompanhados durante todo o período experimental. Temperatura e oxigênio dissolvido foram mensurados diariamente, no período da manhã e no fim da tarde, após as alimentações, enquanto que pH, amônia total, nitrato, nitrito, alcalinidade e dureza foram analisados uma vez por semana, de acordo com as metodologias descritas em APHA (2005). A temperatura média observada no período experimental foi de $20,89 \pm 4,09$ °C e oxigênio dissolvido de $6,15 \pm 1,05$ mg L⁻¹, e todos os parâmetros de qualidade de água analisados ficaram dentro do preconizado para a criação da espécie (Gomes et al., 2000; Braun et al., 2006).

2.2 Avaliação do desempenho produtivo, análise de sangue e composição química da carcaça

Ao final do período experimental, os animais foram mantidos em jejum por 24 horas para o esvaziamento do trato gastrointestinal e após este período, foram imersos em solução de água com óleo de cravo (50 mg L⁻¹), para a indução da anestesia (Cunha et al., 2010).

O sangue de três indivíduos de cada unidade experimental (n= 3 por unidade experimental, totalizando 15 por tratamento), capturados aleatoriamente, foi coletado por meio de punção caudal, acondicionado em microtubo de 2 mL, centrifugado a 2.218 xg por 10 minutos, e os plasmas separados foram armazenados em geladeira até o momento das análises. Os parâmetros sanguíneos analisados foram: transaminase glutâmica oxalacética, transaminase glutâmica pirúvica, colesterol, triglicerídeos, cálcio, proteínas totais, fosfatase alcalina e glicose. Utilizou-se *kits* comerciais da marca Vida Biotecnologia® para a realização das análises e as leituras das absorbâncias foram feitas em Analisador Bioquímico Automático Modelo BS 120, da Mindray.

Posteriormente, foram realizadas medidas de desempenho zootécnico individual de todos os animais (n=20 por unidade experimental ou todos os sobreviventes) e, ao término destas, oito indivíduos de cada unidade experimental (totalizando 40 peixes por tratamento) foram eutanasiados com superdosagem anestésica (500 mg L⁻¹), eviscerados e limpos para obtenção dos dados de rendimento de carcaça sem cabeça: (peso eviscerado/peso final) x 100; e de tronco limpo: (peso

tronco limpo/peso final). Os hepatopâncreas de três destes animais foram removidos e pesados, para calcular o índice hepatossomático: $(\text{peso do hepatopâncreas/peso final}) \times 100$, enquanto que outros três foram coletados aleatoriamente para avaliação da composição química corporal, quanto a proteína bruta e matéria mineral, seguindo as metodologias descritas no AOAC (2005). O teor de umidade foi determinado secando as amostras pré-pesadas em copos de porcelana a 105°C por 12 h, e as cinzas foram determinadas pela incineração das amostras secas a 600°C por 3 h. O teor de proteína foi determinado pelo método Kjeldahl e o extrato etéreo por extração com éter de petróleo no extrator ANKOM® XT 10. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Também foram calculados ganho de peso: $\text{peso final} - \text{peso inicial}$; taxa de crescimento específico: $\{[\log_n(\text{Peso final}) - \log_n(\text{Peso inicial})] / \text{período de tempo} \times 100$; conversão alimentar aparente: $\text{quantidade de alimento consumido} / \text{ganho de peso}$; taxa de eficiência proteica: $\text{ganho de peso} / \text{quantidade de proteína consumida}$; eficiência alimentar: $(\text{ganho de peso/consumo}) \times 100$; e fator de condição: $(\text{Peso final} \times 100) / (\text{Comprimento total}^3)$.

2.3 Análise estatística

As médias de todos os parâmetros avaliados entre os tratamentos foram submetidas aos testes de homocedasticidade (Levene) e de normalidade (Shapiro-Wilks), e, posteriormente à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade utilizando o software Statistica 7.0® (Statsoft, Tulsa, OK, USA) sendo os valores foram expressos como média \pm desvio padrão. Quando constatadas diferenças significativas entre as médias ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey. Também foi realizada análise de regressão para determinar a relação entre os tratamentos.

3. Resultados

As médias obtidas para as variáveis de parâmetros morfométricos e de desempenho produtivo para juvenis de jundiá alimentados durante 118 dias com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto derivado da produção de biodiesel estão descritos na Tabela 2. A substituição do milho pelo glicerol

influenciou significativamente ($p < 0,05$) os parâmetros de peso final, produção de tronco limpo e rendimento de carcaça sem cabeça, sendo que os maiores valores de ambos os parâmetros foram observados no tratamento de 100% de substituição, divergindo somente do tratamento de 0% de substituição do milho pelo glicerol.

Os parâmetros de ganho de peso, comprimento total, padrão e de cabeça, altura, largura, sobrevivência, rendimento de carcaça, taxa de crescimento específico, índice hepatossomático, eficiência alimentar e taxa de eficiência proteica não foram influenciados ($p > 0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol. A conversão alimentar aparente apresentou uma melhora linear ($p < 0,05$) à medida que o milho foi substituído pelo glicerol (Figura 1). O fator de condição aumentou de maneira linear ($p < 0,05$) a medida em que o glicerol substituiu o milho das rações (Figura 2).

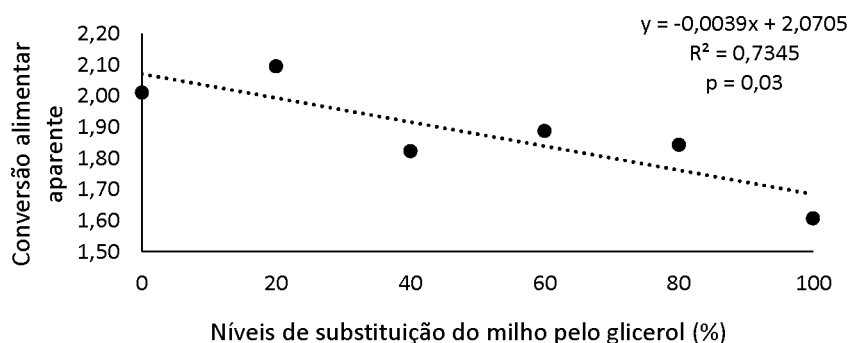


Figura 1. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre a conversão alimentar aparente.

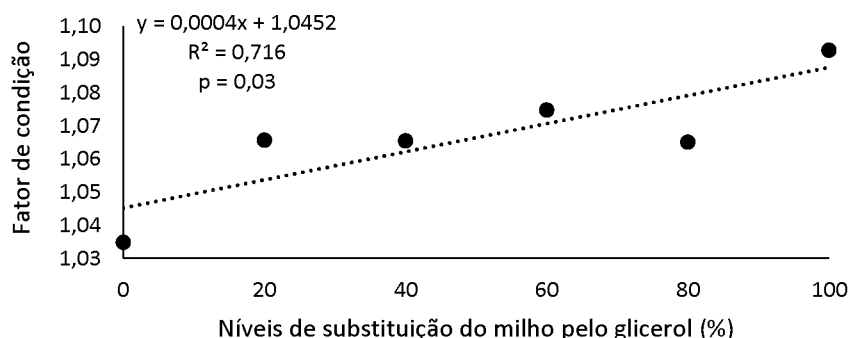


Figura 2. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre o fator de condição.

Os valores médios dos parâmetros sanguíneos de juvenis de jundiá submetidos a dietas contendo níveis crescentes da substituição do milho pelo glicerol bruto estão

apresentados na Tabela 3. O nível plasmático de triglicerídeo foi influenciado ($p < 0,05$) pelos tratamentos, sendo que os animais do tratamento sem substituição do milho pelo glicerol apresentaram os menores valores, e os maiores no do tratamento de 80% de substituição, os tratamentos de 20, 40 e 60 % de substituição foram semelhantes aos tratamentos de 0 e 80%, enquanto que o tratamento de 100% de substituição foi diferente apenas do tratamento 0.

Valores de cálcio, fosfatase alcalina, glicose, proteínas totais, transaminase glutâmica oxalacética e pirúvica não foram influenciados ($p > 0,05$) pelos tratamentos. O nível de colesterol plasmático sofreu um efeito linear positivo ($p < 0,05$) com o aumento da substituição do milho pelo glicerol (Figura 3).

Os valores médios da umidade, extrato etéreo, proteína bruta e da matéria mineral corporal de juvenis de jundiá alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol estão descritos na Tabela 4. A proteína bruta e a matéria mineral não foram influenciadas pelos tratamentos ($p > 0,05$). A substituição do milho pelo glicerol proporcionou um aumento linear significativo ($p < 0,05$) sobre o extrato etéreo (Figura 4) e umidade corporal (Figura 5), sendo um efeito positivo no primeiro parâmetro e negativo no segundo.

Tabela 2. Parâmetros morfométricos e de desempenho zootécnico de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Peso inicial (g)	39,84±0,16	39,67±0,50	39,86±0,20	39,94±0,08	39,85±0,38	39,81±0,36	0,86
Peso final (g)	116,76±10,25 ^b	131,66±16,69 ^{ab}	129,24±3,23 ^{ab}	126,23±13,27 ^{ab}	127,58±6,45 ^{ab}	147,33±6,04 ^a	0,01
Biomassa (kg)	2,31±0,22	2,63±0,38	2,58±0,06	2,52±0,27	2,56±0,09	2,88±0,04	0,06
Tronco limpo (kg)	1,16±0,08 ^b	1,34±0,20 ^{ab}	1,33±0,03 ^{ab}	1,34±0,07 ^{ab}	1,32±0,05 ^{ab}	1,45±0,03 ^a	0,02
Ganho de peso (g)	83,61±17,32	93,02±16,98	89,38±3,30	86,22±13,39	87,73±6,48	102,68±12,32	0,25
Comprimento total (cm)	22,68±0,83	23,09±0,68	22,98±0,44	23,01±0,50	22,88±0,42	23,53±0,68	0,42
Comprimento padrão (cm)	17,54±0,41	18,18±0,71	18,01±0,18	18,00±0,74	17,88±0,34	18,33±0,51	0,34
Comprimento de cabeça (cm)	5,11±0,12	5,33±0,20	5,37±0,13	5,48±0,20	5,45±0,12	5,29±0,28	0,12
Altura (cm)	2,73±0,09	2,96±0,22	2,89±0,04	2,89±0,10	2,89±0,18	3,06±0,19	0,10
Largura (cm)	3,18±0,21	3,28±0,23	3,27±0,03	3,13±0,10	3,26±0,17	3,36±0,27	0,43
Sobrevivência (%)	98,75±2,50	97,00±4,47	100,00±0,00	100,00±0,00	98,75±2,50	98,00±2,74	0,44
Rendimento tronco limpo (%)	50,54±1,99	49,77±1,70	51,33±0,59	50,38±1,98	51,57±0,32	51,01±1,92	0,61
Rendimento de carcaça sem cabeça (%)	58,68±4,05 ^b	64,63±4,42 ^{ab}	65,02±1,71 ^{ab}	66,34±3,94 ^{ab}	63,83±6,56 ^{ab}	71,31±2,33 ^a	0,01
Taxa de crescimento específico (%/dia)	0,90±0,13	0,95±0,12	0,95±0,02	0,93±0,10	0,92±0,05	1,02±0,09	0,50
Índice hepatossomático (%)	1,52±0,31	1,42±0,06	1,37±0,03	1,51±0,32	1,39±0,04	1,38±0,34	0,87
Taxa de eficiência proteica	1,54±0,07	1,63±0,35	1,53±0,08	1,48±0,09	1,55±0,17	1,62±0,25	0,85
Conversão alimentar aparente	2,01±0,30	2,09±0,49	1,82±0,10	1,89±0,12	1,84±0,25	1,61±0,14	0,14
Fator de condição	1,03±0,01	1,07±0,06	1,07±0,04	1,07±0,03	1,07±0,03	1,09±0,03	0,38

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Parâmetros sanguíneos e de composição química corporal de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Cálcio (mg dl ⁻¹)	14,39±1,54	14,12±2,02	12,98±2,05	13,22±5,07	13,23±1,58	13,78±0,34	0,96
Fosfatase alcalina (mg dl ⁻¹)	91,00±20,93	95,00±13,66	99,67±28,82	76,33±30,37	84,13±16,88	99,42±9,46	0,52
Glicose (mg dl ⁻¹)	93,64±30,88	80,03±22,47	115,98±14,30	87,39±31,50	76,76±14,95	69,01±12,65	0,09
Proteínas totais (g dl ⁻¹)	3,24±0,45	3,41±0,46	3,65±0,31	3,52±0,44	3,61±0,32	3,22±0,86	0,69
Transaminase glutâmica oxalacética (UI ⁻¹)	173,28±80,52	153,19±60,38	140,20±46,11	186,76±89,20	77,64±33,76	131,17±13,32	0,20
Transaminase glutâmica pirúvica (UI ⁻¹)	39,64±21,73	23,86±8,38	32,80±12,19	20,57±8,54	17,98±14,47	19,47±7,02	0,14
Triglicerídeos (mg dl ⁻¹)	266,38±47,13 ^a	405,30±97,53 ^{ab}	342,67±118,75 ^{ab}	465,13±49,15 ^{ab}	750,92±101,40 ^c	534,57±191,54 ^{bc}	0,01
Colesterol (mg dl ⁻¹)	112,42±13,02	133,30±25,15	129,08±8,90	136,77±33,45	140,58±5,95	141,27±45,21	0,68

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Composição química corporal de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Umidade (%)	73,61±0,60	73,16±1,97	72,83±1,33	73,25±0,30	72,70±0,72	72,46±0,73	0,63
Matéria mineral (%)	3,07±0,40	2,98±0,34	2,86±0,15	2,92±0,14	3,00±0,27	3,06±0,17	0,80
Extrato etéreo (%)	4,48±0,95 ^a	5,61±0,95 ^{ab}	5,56±1,00 ^{ab}	5,14±0,82 ^{ab}	5,88±0,34 ^{ab}	6,52±0,21 ^b	0,02
Proteína bruta (%)	16,03±0,67	15,40±0,59	15,44±0,95	15,38±0,43	15,74±0,12	15,34±1,03	0,63

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

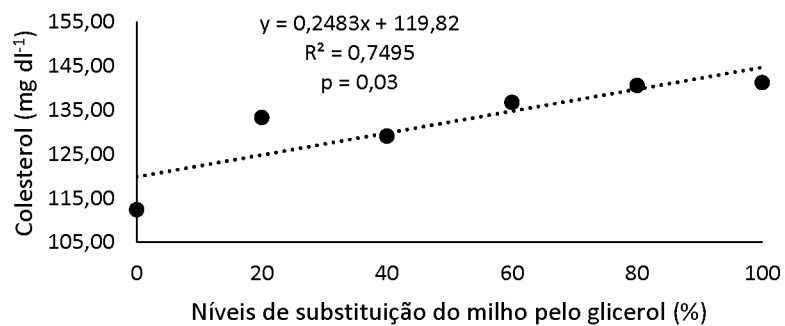


Figura 3. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre os níveis plasmáticos de colesterol.

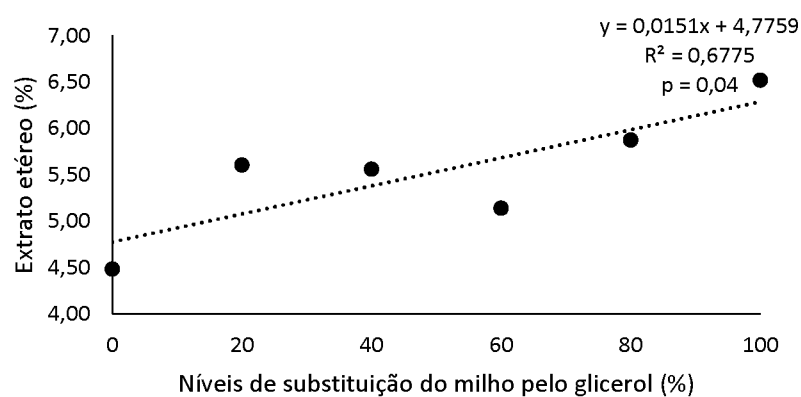


Figura 4. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre a composição de extrato etéreo corporal.

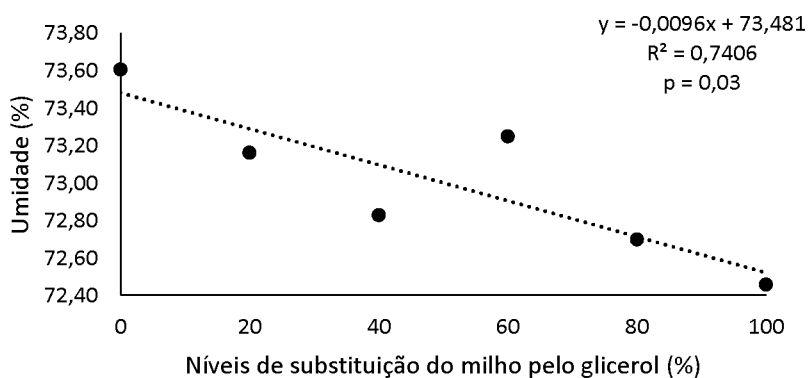


Figura 5. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol sobre a umidade corporal.

4. Discussão

Os resultados do presente experimento corroboram com os encontrados para a tilápia do Nilo, onde a inclusão de valores entre 10 e 15% na dieta não afetou os parâmetros produtivos avaliados (Neu et al., 2013, Costa et al., 2015, Gonçalves et al., 2015). Já o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) tem a capacidade de utilizar até 10% de glicerol na dieta sem efeitos adversos no consumo de ração, ganho de peso e eficiência alimentar (Li et al., 2010), enquanto que para o curimatá (*Prochilodus lineatus*) a inclusão de 4% deste ingrediente promoveu melhora no desempenho produtivo sem prejudicar a saúde dos peixes (Balén et al., 2017).

Em contrapartida, a substituição de 100% do milho pelo glicerol proporcionou maior peso final e rendimento de tronco limpo, além de não ter afetado o índice hepatossomático de juvenis de jundiá, demonstrando o bom potencial energético deste ingrediente sem afetar o fígado. O glicerol é um suplemento alimentar potencial cujo metabolismo pode poupar o catabolismo de aminoácidos da dieta, estendendo assim o uso da proteína alimentar a outras funções fisiológicas, como crescimento, levando ao efeito poupador de proteína (Palma et al., 2019).

O glicerol da dieta tem a capacidade de poupar aminoácidos glicogênicos ao inibir a atividade de enzimas, como a glutamato desidrogenase, promovendo assim a deposição de proteínas nos tecidos musculares, sendo que a regulação da atividade desta enzima parece ser dependente da fonte e dos níveis de glicerol na dieta, bem como da direção da reação enzimática, que pode converter o glutamato em α -cetoglutarato e vice-versa (Bernardino et al., 2014).

O que interessa ao produtor é o peso final do peixe entregue à indústria frigorífica, considerando igualmente, se não mais importante, o rendimento das partes comestíveis que formam o produto final a serem destinados ao mercado consumidor (Grigio and Meurer, 2020). A substituição de 100 % do milho pelo glicerol proporcionou maior peso final, rendimento de carcaça sem cabeça e produção de tronco limpo, o que reflete no aumento de lucratividade do produtor.

Do ponto de vista do consumidor, o uso de glicerol dietético também é positivo, pois a inclusão de 5% de glicerol dietético induz aumento no glicogênio muscular, níveis de ATP e firmeza, sem efeitos deletérios em termos de crescimento, composição centesimal, perfil de ácidos graxos, estado oxidativo e propriedades organolépticas do filé (aroma e cor) (Silva et

al., 2012). Portanto, apenas razões benéficas são apontadas para o uso desse ingrediente na dieta de peixes.

A substituição do milho pelo glicerol influenciou a concentração plasmática de triglicerídeos, sendo que os maiores valores foram observados no tratamento de 80% de substituição, sendo este valor superior ao ideal para a espécie (Borges et al., 2004). O mesmo foi observado por Balen e colaboradores (2017) para o curimatá, sendo que o maior nível plasmático de triglicerídeo foi observado no tratamento de 12% de inclusão enquanto Costa et al., (2015) verificaram a influência do glicerol sobre a concentração de triglicerídeos no músculo e fígado de juvenis de tilápia do Nilo.

A concentração plasmática de triglicerídeos está relacionada à capacidade de armazenamento, estado nutricional, estado glicêmico, mobilização de diversos tecidos e seu uso como fonte de energia (Mewes et al., 2016) e o fato de apenas um tratamento (80% de substituição) apresentar concentração plasmática acima do ideal (138 a 546 mg dl⁻¹) para a espécie indica que o glicerol é uma fonte de energia adequada para o jundiá, pois não alterou a lipogênese nos adipócitos (Costa et al., 2015; Mewes et al., 2016).

Na composição química da carcaça, a substituição do milho pelo glicerol influenciou a composição de extrato etéreo, como também foi verificado por (Neu et al., 2013) em juvenis de tilápia do Nilo. Entretanto, o valor de extrato etéreo observado na carcaça de juvenis de jundiá do presente trabalho está de acordo ao descrito por (Grégio et al., 2020) que verificaram 5.97% de extrato etéreo na carcaça de jundiás criados em sistema alternado de produção com tilápia do Nilo, enquanto que (Melo et al., 2002) verificaram 5,67% de extrato etéreo avaliando deposição de extrato etéreo e proteína na carcaça de alevinos de jundiá alimentados com dietas contendo diferentes fontes lipídicas.

Maior deposição de gordura na carne do jundiá está relacionada ao sabor da carne deste peixe, que é mais pronunciado que o sabor da carne da tilápia (Grégio et al., 2020), sendo que esta espécie apresenta características positivas para a industrialização da sua carne em processo de defumação, agregando valor ao produto final (Gonçalves e Cezarini, 2008).

Os peixes aproveitam várias fontes de energia de origem animal e vegetais comumente utilizadas nas rações, com eficiência, incluindo o glicerol (Neu et al., 2013). Diferentes níveis de inclusão de glicerol bruto são indicados para as diferentes espécies de peixes, o que pode estar relacionado as diferentes perturbações que este ingrediente pode causar aos metabolomas musculares e hepáticos, o que reforça a necessidade da otimização da dieta de organismos aquáticos, reforçando a necessidade de uma abordagem de formulação de dietas espécie específicas, particularmente para novos ingredientes (Palma et al., 2019).

O glicerol bruto pode ser utilizado em formulações de rações para juvenis de jundiá, uma vez que substitui o milho, com resultados positivos, sem influenciar o crescimento e desempenho zootécnico desta espécie.

De uma maneira geral, estudos de substituição de um alimento por um alternativo, leva em consideração os impactos nos parâmetros estudados, sejam eles de desempenho, qualidade da água ou na saúde do peixe. Esses resultados, combinados com o custo e a disponibilidade desses itens alimentícios, orientam as decisões da indústria de rações, pois o valor e a disponibilidade dos ingredientes, alternativos ou não, também podem variar com o tempo

A substituição do milho em rações animais é interessante, pois o milho é um alimento utilizado para consumo pelo ser humano. Em geral, a substituição do milho é feita por outros alimentos que tem no amido a sua principal fonte de energia. Entretanto, deve-se destacar que a diminuição do milho nas rações está diretamente relacionado a diminuição do amido nestas. Mesmo que do ponto de vista da nutrição desta espécie possa até ser entendido como uma vantagem, cabe destacar que o amido é importante para o processo de extrusão das rações. O fato de o jundiá ser um peixe que gosta de permanecer no fundo dos tanques pode ser uma vantagem nesta situação. Porém, este fato deve ser levado em consideração quando for tomada a decisão da utilização do glicerol para a composição de rações para esta espécie.

Portanto, o glicerol pode ser usado para substituir o milho, em qualquer nível testado nos experimentos aqui conduzidos (de 0 a 100% de substituição ou inclusão de 0 a 7,5%).

5. Conclusão

O presente estudo demonstrou que o glicerol derivado do biodiesel pode substituir com sucesso o milho em dietas para juvenis de jundiá, sendo um produto alternativo que pode ser usado como ingrediente energético. A substituição do milho pelo glicerol bruto em até 100% melhorou o desempenho produtivo dos juvenis de jundiá, enquanto a inclusão de glicerol em até 7,5% não afetou a sobrevivência ou o índice hepatossomático.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e financiado pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico através do Programa de Apoio a Núcleos Emergentes – PRONEM (23/2012). Fábio Meurer agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa nível 2 e Izabel Volkweis Zadinelo agradece pela bolsa de pós-doutorado CAPES código de financiamento 001.

Referências

- American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^o ed. Washington, 2005.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC) (1995) Official methods of analysis of AOAC international, 16th edn. AOAC Inc., Arlington, VA.
- Ayoub, M., Abdullah, A.Z., 2012. Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2671–2686. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.054>
- Balen, R.E., Bueno Junior, G., Colpini, L.M.S., Bombardelli, R.A., da Silva, L.C.R., Meurer, F., 2017. Energia digestível e inclusão da glicerina bruta em dietas para juvenis de curimatã. *Bol. do Inst. Pesca* 43, 347–357. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p347>
- Balen, R.E., Tetu, P.N., Bombardelli, R.A., Pozza, P.C., Meurer, F., 2014. Digestible energy of crude glycerol for pacu and silver catfish. *Ciência Rural* 44, 1448–1451. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131426>
- Barcellos, L.J.G., Kreutz, L.C., Quevedo, R.M., Fioreze, I., Cericato, L., Soso, A.B., Fagundes, M., Conrad, J., Baldissera, R.K., Bruschi, A., Ritter, F., 2004. Nursery rearing of jundiá, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard) in cages: Cage type, stocking density and stress response to confinement. *Aquaculture* 232, 383–394. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00545-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00545-3)
- Bernardino, V.M.P., Rodrigues, P.B., Paula Naves, L., Zangeronimo, M.G., Alvarenga, R.R., Rosa, P. V., Santos, L.M., Teixeira, L. V., 2014. Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 98, 559–568. <https://doi.org/10.1111/jpn.12113>
- Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura, 2011. REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL Presidenta Dilma Vana Rousseff. *Bol. Estatístico Da Pesca E Aquicultura* 2011 1–60.
- Borges, A., Scotti, L. V., Siqueira, D.R., Jurinitz, D.F., Wassermann, G.F., 2004. Hematologic

- and serum biochemical values for jundiá (*Rhamdia quelen*). Fish Physiol. Biochem. 30, 21–25. <https://doi.org/10.1007/s10695-004-5000-1>
- Borges Neto, P.G., Dutra, F.M., Ballester, E.L.C., Portz, L., 2013. Growth and survival of silver catfish, *R. quelen*, larvae fed enriched live food and artificial diet. Rev. Bras. Ciência Veterinária 20, 216–221. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2014.011>
- Braun, N., Lima, R.L. de, Moraes, B., Loro, V.L., Baldisserotto, B., 2006. Survival, growth and biochemical parameters of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824), juveniles exposed to different dissolved oxygen levels. Aquac. Res. 37, 1524–1531. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01589.x>
- Broggi, J.A., Wosniak, B., Uczay, J., Pessatti, M.L., Fabregat, T.E.H.P., 2017. Hidrolisado proteico de resíduo de sardinha como atrativo alimentar para juvenis de jundiá. Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec. 69, 505–512. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8348>
- Cervantes-Godoy, D., Dewbre, J., PIN, Amegnaglo, C.J., Soglo, Y.Y., Akpa, A.F., Bickel, M., Sanyang, S., Ly, S., Kuiseu, J., Ama, S., Gautier, B.P., Officer, E.S., Officer, E.S., Eberlin, R., Officer, P., Branch, P.A., Oduro-ofori, E., Aboagye Anokye, P., Acquaye, N.E.A., Dandelar, V.M., Mineo, J., FAO, F. and A.O. of the U., IFAD, WFP, Fadipe A.E.A., *Amolegbe K.B. and Afun O.O., Ganiev, I., Maguire, C., Hoover, T.S., Scanlon, D.C., FAO, F. and A.O. of the U., Singh, K.M., Meena, M.S., Swanson, B.E., 2014. The future of food and agriculture: trends and challenges. Futur. food Agric. trends challenges 4, 1951–1960.
- Costa, D.V. da, Paulino, R.R., Okamura, D., De Oliveira, M.M., E Rosa, P.V., 2015. Growth and energy metabolism of Nile tilapia juveniles fed glycerol. Pesqui. Agropecu. Bras. 50, 347–354. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500001>
- Costa, D.V., Dias, J., Colen, R., Rosa, P.V., Engrola, S., 2017. Partition and metabolic fate of dietary glycerol in muscles and liver of juvenile tilapia. Arch. Anim. Nutr. 71, 165–174. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1281579>
- Cunha, M.A. da, Zeppenfeld, C.C., Garcia, L. de O., Loro, V.L., da Fonseca, M.B., Emanuelli, T., Veeck, A.P. de L., Copattia, C.E., Baldisserotto, B., 2010. Anesthesia of silver catfish with eugenol: Time of induction, cortisol response and sensory analysis of fillet. Cienc. Rural 40, 2107–2114. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782010005000154>
- Dalcin, M.O., Pianesso, D., Silva, V.C., Mombach, P.I., Adorian, T.J., Lima, J.S., Goulart, F.R., Silva, L.P., 2018. Concentrado proteico de arroz na alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec. 70, 306–314. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9730>
- Decarli, J.A., Pedron, F.A., Lazzari, R., Signor, A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2016. Hidrolisados proteicos na alimentação do jundiá (*Rhamdia voulezi*). Rev. Bras. Ciência Veterinária 23, 168–173. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2016.051>
- Fabregat, T.E.H.P., Wosniak, B., Gonçalves, A.F.N., Ha, N., Skoronski, E., Pessatti, M.L., 2016. Frações solúveis e insolúveis do hidrolisado proteico de resíduo de sardinha na alimentação do jundiá: Consumo de ração e excreção de amônia. Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec. 68, 1713–1720. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9153>
- FAO. 2020., 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229en>

- Fernandes, D.R.A., Yamashiro, D., Erzen, J., Bittencourt, F., Boscolo, W.R., Neu, D.H., 2016. Glycerol in the Diet of Common Carp Larvae (*Cyprinus carpio*) Dihego. *Uniciências* 20, 11–15.
- Fracalossi, D.M., Meyer, G., Santamaria, F.M., Weingartner, M., Zaniboni Filho, E., 2004. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. *Acta Sci. Anim. Sci.* 26, 345–352. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v26i3.1806>
- Gomes, L. de C., Golombieski, J.I., Gomes, A.R.C., Baldisserotto, B., 2000. Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae). *Ciência Rural* 30, 179–185. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782000000100029>
- Gominho-Rosa, M. do C., Rodrigues, A.P.O., Mattioni, B., de Francisco, A., Moraes, G., Fracalossi, D.M., 2015. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: Digestibility, enzyme activity and starch microstructure. *Aquaculture* 435, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.035>
- Gonçalves, L.U., Cerozi, B. da S., Silva, T.S.C., Zanon, R.B., Cyrino, J.E.P., 2015. Crude glycerin as dietary energy source for Nile tilapia. *Aquaculture* 437, 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.004>
- Gonçalves, A. V., Cezarini, R., 2008. ADDING VALUE TO FRESHWATER FISH: SMOKING FILLETS OF JUNDIÁ (*Rhamdia quelen*). *Rev. Bras. Eng. Pesca* 3, 63–79.
- Grigio, R., Meurer, F., 2020. Alternating Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and silver catfish (*Rhamdia quelen*) farming in recirculation system: A possibility for aquaculture in Southern Brazil. *J. Dev.* 6, 4303–4308. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-057>
- Grigio, R., Silva, L.C.R. da, Mauerwerk, M.T., Colpini, L.M.S., Zanella Júnior, M.C., Meurer, F., 2020. Products and co-products of alternating farming of Nile tilapia with jundiá. *Brazilian J. Anim. Environ. Res.* 3, 1679–1696. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-085>
- Li, M.H., Minchew, C.D., Oberle, D.F., Robinson, E.H., 2010. Evaluation of glycerol from biodiesel production as a feed ingredient for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. World Aquac. Soc.* 41, 130–136. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00320.x>
- Mauerwerk, M.T., Zadinelo, I.V., Meurer, F., 2020. Use of glycerol in fish nutrition : a review. *Rev. Aquac.* 1–9. <https://doi.org/10.1111/raq.12502>
- Melo, J.F.B., Lundstedt, L.M., Inoue, L.A.K., Metón, I., Baanante, I. V., Moraes, G., 2016. Glycolysis and gluconeogenesis in the liver of catfish fed with different concentrations of proteins, lipids and carbohydrates. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 68, 1251–1258. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8337>
- Melo, J.F.B., Radünz Neto, J., Silva, J.H.S. da, Trombetta, C.G., 2002. desenvolvimento e composição corporal de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*) Alimentados com dietas contendo diferentes fontes de lipídios. *Ciência Rural* 32, 321–327. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782002000200023>
- Menton, D.J., Slinger, S.J., Hilton, J.W., 1986. Utilization of free glycerol as a source of dietary energy in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 56, 215–227. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90337-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90337-6)

- Meurer, F., Franzen, A., Piovesan, P., Rossato, K.A., Santos, L.D. Dos, 2012. Apparent energy digestibility of glycerol from biodiesel production for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquac. Res.* 43, 1734–1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02974.x>
- Meurer, F., Tovo Neto, A., da Silva, L.C.R., Cagol, L., Theisen, M.T., dos Santos, L.D., 2016. Crude glycerol in diets for Nile tilapia sex reversal (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquac. Res.* 47, 2682–2685. <https://doi.org/10.1111/are.12714>
- Mewes, J.K., Meurer, F., Tessaro, L., Buzzi, A.H., Syperreck, M.A., Bombardelli, R.A., 2016. Diets containing crude glycerin damage the sperm characteristics and modify the testis histology of Nile tilapia broodstock. *Aquaculture* 465, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.035>
- Meyer, G., Fracalossi, D.M., 2004. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. *Aquaculture* 240, 331–343. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.034>
- Moesch, A., Meurer, F., Zadinelo, I.V., Carneiro, W.F., Silva, L.C.R. da, Santos, L.D. dos, 2016. Growth, body composition and hepatopancreas morphology of Nile tilapia fingerlings fed crude glycerol as a replacement for maize in diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 219, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.009>
- Neu, D.H., Furuya, Wilson Massamitu Yamashiro, D., Bittencourt, F., Moro, E.B., Fernandes, D.R.A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2012a. Glycerol in the diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Rev. Agrar.* 4, 288–294.
- Neu, D.H., Furuya, W.M., Boscolo, W.R., Potrich, F.R., Lui, T.A., Feiden, A., 2013. Glycerol inclusion in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. *Aquac. Nutr.* 19, 211–217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00968.x>
- Neu, D.H., Furuya, W.M., Yamashiro, D., Moro, E.B., Fernandes, D.R.A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2012b. Glicerol na dieta de alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Agrar.* 5, 288–294.
- Oliveira Filho, P.R.C. De, Fracalossi, D.M., 2006. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients for jundia juveniles. *Rev. Bras. Zootec.* 35, 1581–1587.
- Palma, M., Tavares, L.C., Rito, J., Henriques, L.F., Silva, J.G., Ozório, R., Pardal, M.A., Magnoni, L.J., Viegas, I., 2019. Metabolic effects of dietary glycerol supplementation in muscle and liver of european seabass and rainbow trout by 1H NMR metabolomics. *Metabolites* 9, 1–15. <https://doi.org/10.3390/metabo9100202>
- Panserat, S., Plagnes-juan, E., Gazzola, E., Palma, M., Magnoni, L.J., Marandel, L., Viegas, I., 2020. Hepatic Glycerol metabolism-related genes in carnivorous rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Insights Into Molecular Characteristics , Ontogenesis , and Nutritional Regulation. *Front. Physiol.* 11, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00882>
- Rito, J., Viegas, I., Pardal, M., Metón, I., Baanante, I. V., Jones, J.G., 2019. Utilization of glycerol for endogenous glucose and glycogen synthesis in seabass (*Dicentrarchus labrax*): A potential mechanism for sparing amino acid catabolism in carnivorous fish. *Aquaculture* 498, 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.066>
- Rodrigues, A.P.O., Gominho-Rosa, M.D.C., Cargnin-Ferreira, E., de Francisco, A., Fracalossi,

- D.M., 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquac. Nutr. 18, 65–72. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x>
- Rossato, S., Maschio, D., Martinelli, S.G., Nunes, L.M. da C., Radünz Neto, J., Lazzari, R., 2018. Fish meal obtained from the processing of *Rhamdia quelen*: An alternative protein source. Bol. do Inst. Pesca 44, 1–9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.44.4.350>
- Salhi, M., Bessonart, M., 2011. Growth, survival and fatty acid composition of *Rhamdia quelen* (Quoy and Gaimard, 1824) larvae fed on artificial diet alone or in combination with *Artemia nauplii*. Aquac. Res. 44, 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03004.x>
- Santos, H.K. dos, Meurer, F., 2018. Nutrition and feeding aspects for jundiá (*Rhamdia quelen*). Rev. Aquac. 12, 1–11. <https://doi.org/10.1111/raq.12318>
- Santos, L.D. dos, Zadinelo, I.V., Moesch, A., Bombardelli, R.A., Meurer, F., 2019. Crude glycerol in diets for Nile tilapia in the fattening stage. Pesqui. Agropecu. Bras. 54, 1–10. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2019.V54.00460>
- Schulter, E.P., Filho, J.E.R.V., 2017. Evolução da piscicultura no Brasil: Diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. Inst. Pesqui. Econômica Apl. - Ipea 42.
- Signor, A., Feiden, A., Boscolo, W., Signor, A., Gonçalves, G., Sary, C., Klein, S., 2013. Eventos reprodutivos do jundiá *Rhamdia voulezi* cultivado em tanques-rede. Rev. Bras. Reprodução Anim. 37, 272–277.
- Silva, J.A.M. da, Pereira-Filho, M., Cavero, B.A.S., Oliveira-Pereira, M.I. de, 2007. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia de ração suplementada com enzimas digestivas exógenas para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818). Acta Amaz. 37, 157–164. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672007000100021>
- Silva, T.S., Matos, E., Cordeiro, O.D., Colen, R., Wulff, T., Sampaio, E., Sousa, V., Valente, L.M.P., Gonçalves, A., Silva, J.M.G., Bandarra, N., Nunes, M.L., Dinis, M.T., Dias, J., Jessen, F., Rodrigues, P.M., 2012. Dietary tools to modulate glycogen storage in gilthead seabream muscle: Glycerol supplementation. J. Agric. Food Chem. 60, 10613–10624. <https://doi.org/10.1021/jf3023244>
- Theisen, M.T., Bombardelli, R.A., Meurer, F., Ferreira, R.L., da Silva, L.C.R., 2019. Crude glycerol inclusion in diets for post-larvae *Rhamdia voulezi* and *Rhamdia branneri*. Aquac. Res. 51, 1313–1316. <https://doi.org/10.1111/are.14465>
- Tusche, K., Arning, S., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 2012. Wheat gluten and potato protein concentrate - Promising protein sources for organic farming of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 344–349, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.009>
- Vieira Filho, J.E.R., Fishlow, A., 2017. Agricultura e Indústria no Brasil: inovação e competitividade, Ipea.
- Weiler, K.A., Pessini, J.E., Sanchez, M.S.S., Rodrigues, M.L., Boscolo, W.R., Pezzato, L.E., Bittencourt, F., Signor, A., 2019. Sunflower meal with and without phytase supplementation in diets for silver catfish (*Rhamdia quelen*) juveniles. Rev. Colomb. Ciencias Pecu. 32, 285–297. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v32n4a04>
- Yang, F., Hanna, M.A., Sun, R., 2012. Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production. Biotechnol. Biofuels 5, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5->

6 CAPÍTULO 4: O glicerol bruto derivado da fabricação do biodiesel substitui o milho na dieta do jundiá (*Rhamdia quelen*) na fase de engorda

Capítulo será submetido à revista *Aquaculture*

Qualis CAPES (Biodiversidade 2013-2016): A1

Autores: Marlise Teresinha Mauerwerk, Izabel Volkweis Zadinelo, Patrícia da Silva Dias,
Rafael Ernesto Balen, Robie Allan Bombardelli, Fábio Meurer

Resumo: O objetivo foi avaliar o efeito da utilização do glicerol bruto proveniente da produção de biodiesel, sobre o desempenho zootécnico, composição química da carcaça e filé, e dos parâmetros sanguíneos de jundiá, na fase de engorda. Foram utilizados 150 adultos de jundiá (peso médio de $188,89 \pm 0,60\text{g}$), distribuídos em 30 tanques (1,000 L cada), em sistema de recirculação de água (com filtro mecânico e biofiltro), em um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos, sendo estes as dietas práticas com 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de substituição do milho pelo glicerol, e cinco repetições cada. O experimento foi conduzido por 206 dias. Os parâmetros morfométricos de adultos de jundiá não foram influenciados ($p>0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol, entretanto, o comprimento padrão e a largura dos animais apresentaram melhora linear ($p<0,05$) à medida que o glicerol substituiu o milho nas dietas. O rendimento do filé foi afetado ($p<0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol, sendo que o tratamento de 80% de substituição apresentou melhor rendimento de filé (46,04%), diferindo somente do tratamento de 20% de substituição (42,40% de rendimento de filé). O glicerol bruto, derivado da fabricação do biodiesel, é um alimento alternativo adequado como fonte energética para o jundiá (*Rhamdia quelen*) na fase de engorda, pois pode substituir o milho em até 100% ou ser incluído em até 7,5 % nas suas dietas.

Palavras-chave: Alimentação; ingrediente energético; nutrição, peixe.

1. Introdução

Com o crescimento da população mundial, a preocupação com a segurança alimentar e o interesse cada vez mais intenso em relação à sustentabilidade ambiental estão entre os principais desafios a serem enfrentados pelos países para as próximas décadas (Schulter e Filho, 2017; Vieira Filho e Fishlow, 2017). Devido ao aumento exponencial da demanda de

alimentos pela população mundial, surge a necessidade de se melhorar a eficiência produtiva de atividades agropecuárias (FAO, 2017). Neste contexto, a aquicultura tem contribuído efetivamente na produção animal mundial, pois é apontada como a atividade agropecuária com maior desenvolvimento nos últimos anos (FAO, 2020).

Estima-se que a produção global de peixes atingiu 179 milhões de toneladas em 2018, das quais 156 milhões foram destinadas para o consumo humano, equivalendo a 20,5 kg de consumo *per capita*, enquanto que as 22 milhões de toneladas restantes foram destinadas para outros usos, como a produção de farinha e óleo de peixe. Do montante da produção mundial, a aquicultura correspondeu a 46% da produção total e 52% da produção destinada para o consumo humano, sendo que o consumo global de pescado teve aumento médio anual de 3,1% (1961 a 2017), taxa superior ao de todas as outras fontes proteicas animais (carne, laticínios, leite, entre outros), que aumentou em 2,1% anuais (FAO, 2020).

O jundiá é uma espécie promissora no cenário brasileiro (Grigio e Meurer, 2020), principalmente em regiões onde o clima limita o cultivo de muitas espécies. Este peixe apresenta resistência ao manejo, docilidade e crescimento acelerado, mesmo no inverno (Fracalossi et al., 2004), podendo melhorar a sustentabilidade da cadeia piscícola na região Sul do Brasil (Grigio et al., 2020). Estudos indicam o potencial para utilização de ingredientes de origem vegetal na dieta do jundiá (Dalcin et al., 2018). Como o jundiá apresenta potencial na piscicultura comercial, o conhecimento sobre os ingredientes utilizados para a sua alimentação é essencial (Santos e Meurer, 2018).

Com o crescimento da aquicultura, há também a crescente demanda por ingredientes de origem animal para a fabricação de rações, porém, a baixa disponibilidade, alto custo e qualidade oscilante tornam necessários estudos relativos a alimentos alternativos, que atendam às exigências nutricionais das espécies e que sejam mais disponíveis no mercado (Decarli et al., 2016). O rápido crescimento da produção industrial de peixes no Brasil tem motivado pesquisas focadas na redução dos custos de produção e na redução do impacto ambiental (Weiler et al., 2019), sendo uma opção de fornecimento contínuo de nutrientes de alta qualidade, a utilização de matéria-prima de origem vegetal (Tusche et al., 2012), neste contexto alguns resíduos industriais também devem ser levados em consideração.

Neste sentido, diversos estudos apontam que o glicerol bruto derivado do biodiesel pode ser utilizado como ingrediente na alimentação animal (Yang et al., 2012), e, em específico, na de peixes. Foram investigados os valores de digestibilidade aparente deste ingrediente para diferentes espécies como a tilápia do Nilo, (Meurer et al., 2012; Neu et al., 2012; Gonçalves et al., 2015; Meurer et al., 2016), o jundiá, o pacu (Balén et al., 2014) e o curimatá (Balén et al., 2017), e os resultados têm demonstrado que o glicerol é considerado uma fonte de energia com bom potencial para essas espécies de peixes (Mauerwerk et al., 2020).

O glicerol também foi adicionado com sucesso em rações de diversas espécies de peixes, e em diferentes fases de crescimento (Li et al., 2010; Meurer et al., 2012; Neu et al., 2012; Balén et al., 2014; Costa et al., 2015; Gonçalves et al., 2015; Fernandes et al., 2016; Meurer et al., 2016; Moesch et al., 2016; Balén et al., 2017; Santos et al., 2019; Theisen et al., 2019). Levando em consideração o crescimento da produção aquícola do país e a intenção de explorar o potencial produtivo do jundiá, visando a utilização de ingredientes alternativos com menor custo e que diminuíssem o impacto ambiental, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da utilização do glicerol bruto proveniente da produção de biodiesel, sobre o desempenho zootécnico, composição química da carcaça e filé, bem como sobre os parâmetros sanguíneos de jundiá, na fase de engorda.

2. Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Produção e Reprodução de Peixes (LAPERP) da Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina e está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Colégio Brasileiro de Experimentação (COBEA) e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA - UFPR), sob o protocolo nº 14/2011-CEUA.

Foram utilizados 150 adultos de jundiá, sendo 60 machos e 90 fêmeas, com peso médio de $188,89 \pm 0,60$ g, distribuídos em 30 tanques circulares de polietileno, com volume útil de 1.000 L cada, ligadas a um filtro mecânico de 2.000 L e um biofiltro de 30.000 L em sistema de recirculação de água, em um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições, sendo considerado uma unidade experimental um tanque contendo 5 peixes.

Os tratamentos foram constituídos por dietas práticas divididas em 6 níveis de substituição do milho pelo glicerol bruto derivado do biodiesel sendo isoprotéicas (34%) e

isoenergéticas (3.000 kcal/kg⁻¹). Na formulação das dietas experimentais foram utilizados os valores de digestibilidade de nutrientes e energia descritos por Oliveira Filho e Fracalossi (2006) e Balen et al. (2014).

Os ingredientes utilizados na fabricação das dietas experimentais foram moídos individualmente em triturador tipo facas, com peneira de 0,5 mm, misturados de acordo com sua formulação (Tabela 1), peletizados e armazenados sob refrigeração.

Tabela 1. Formulação e composição proximal das dietas experimentais com diferentes níveis de substituição do milho pelo glicerol bruto

Alimentos (%)	Substituição do milho pelo glicerol na dieta (%)					
	0	20	40	60	80	100
Farelo de soja	48,20	48,78	49,39	49,61	49,80	50,00
Farinha de peixe	24,00	24,00	24,00	24,30	24,56	24,88
Milho	20,00	16,00	12,00	8,00	4,00	0,00
Calcário calcítico	4,58	4,25	3,99	3,75	3,49	3,24
Óleo de soja	1,71	1,40	1,11	0,83	0,55	0,28
Premix vitamínico mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
BHT *	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Glicerol bruto	0,00	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição proximal (%) com base na matéria natural						
Energia bruta (MJ/kg)	17,62	17,66	17,64	17,62	17,66	17,62
Proteína bruta	38,23	39,13	38,05	38,41	38,19	37,43
Extrato etéreo	5,36	5,22	5,37	6,89	7,54	9,31
Cinzas	14,99	14,96	14,75	15,09	15,16	15,73
Umidade	3,68	3,30	3,42	3,04	2,78	2,58

¹ Complemento vitamínico e mineral com níveis de garantia por quilograma do produto: vit. A - 1.000.000 UI; vit. D3 - 500.000 UI; vit. E - 20.000 mg; vit. K3 - 500 mg; vit. B1 - 1.900 mg; vit. B2 - 2.000 mg; vit. B6 - 2.400 mg; vit. B12 - 3.500 mg; ácido fólico - 200 mg; pantotenato de cálcio - 4.000mg; vit. C - 25 g; biotina - 40 mg; niacina - 5.000 mg; Fe - 12,5 g; Cu - 2.000 mg; Mn - 7.500 mg; Zn - 25 g; I - 200 mg; Se - 70 mg.

*BHT = Butil Hidroxi Tolueno

Os peixes foram alimentados até saciedade aparente duas vezes ao dia (7:30h e 17:30h), durante 206 dias, e, uma vez na semana, 30 minutos após a primeira alimentação do dia, as unidades experimentais foram sifonadas para retirada de resíduos depositados no fundo.

Os parâmetros físicos-químicos da água foram acompanhados durante todo o período experimental. Temperatura e oxigênio dissolvido foram mensurados diariamente, no período da manhã e no fim da tarde, após as alimentações, enquanto que pH, amônia total, nitrato, nitrito, alcalinidade e dureza foram analisados uma vez por semana, de acordo com a metodologia descrita em APHA (2005), e estão apresentados na Tabela 2. Todos os parâmetros

analisados ficaram dentro dos valores indicados para a adequada criação do jundiá (Gomes et al., 2000; Braun et al., 2006).

Tabela 2. Parâmetros físico químicos de qualidade de água mensurados durante o período experimental.

Parâmetro	Valor
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	6,24 ± 1,02
Temperatura (°C)	27,91 ± 3,52
pH	7,98 ± 0,34
Amônia (mg L ⁻¹)	0,03 ± 0,03
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,12 ± 0,12
Ortofosfato (mg L ⁻¹)	3,84 ± 2,94
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	97,13 ± 15,18
Dureza (mg L ⁻¹)	47,95 ± 12,46

Ao final do período experimental e jejum de 24 horas para o esvaziamento do trato gastrointestinal, os animais foram imersos em solução de água com óleo de cravo (50 mg L⁻¹), para a indução da anestesia (Cunha et al., 2010).

Para determinação da concentração plasmática de glicose, transaminase glutâmica oxalacética (TGO), transaminase glutâmica pirúvica (TGP), colesterol, triglicerídeos, cálcio, proteínas totais, fosfatase alcalina, foram coletados o sangue de três indivíduos de cada unidade experimental, capturados aleatoriamente. As amostras de sangue foram obtidas por meio de punção caudal e o sangue colhido foi centrifugado em microtubo de 2 mL, a 3600 rpm por 10 minutos, para separação do plasma e armazenados em geladeira até o momento das análises. As análises foram realizadas utilizando *kits* comerciais da marca Vida Biotecnologia e as leituras foram conduzidas em Analisador Bioquímico Automático Modelo BS 120, da Mindray.

Posteriormente, foram realizadas medidas de desempenho zootécnico individual de todos os animais: peso (g), comprimento total (cm), comprimento padrão (cm), tamanho da cabeça (cm), altura (cm) e largura (cm). Ao término das medidas morfométricas externas, quatro indivíduos de cada unidade experimental foram eutanasiados com superdosagem de óleo de cravo (500 mg L⁻¹), eviscerados e limpos para obtenção dos dados de rendimento de carcaça sem cabeça (RC): (tronco limpo/peso final) x 100; e de tronco limpo (TL). Os hepatopâncreas de três destes animais foram removidos e pesados, para calcular o índice hepatossomático (IH): (peso do hepatopâncreas/peso final) x 100.

Também foram calculados ganho de peso (GP): peso final – peso inicial; taxa de crescimento específico (TCE): {[log_n (Peso final) - log_n (Peso inicial)] / período x 100; conversão alimentar aparente (CAA): quantidade de alimento consumido / ganho de peso; taxa

de eficiência proteica (TEP): $\text{ganho de peso} / \text{quantidade de proteína consumida}$; eficiência alimentar: $(\text{ganho de peso}/\text{consumo}) \times 100$; e fator de condição (FT): $(\text{Peso final} \times 100) / (\text{Comprimento total})^3$.

Para a determinação da composição química corporal, três peixes de cada unidade experimental foram coletados aleatoriamente, quanto a umidade, extrato etéreo, proteína bruta e matéria mineral, seguindo as metodologias descritas no AOAC (2005). O teor de umidade foi determinado secando as amostras pré-pesadas em copos de porcelana a 105 ° C por 12 h, e as cinzas foram determinadas pela incineração das amostras secas a 600 ° C por 3 h. O teor de proteína foi determinado pelo método Kjeldahl e o extrato etéreo por extração com éter de petróleo no extrator ANKOM® XT 10. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

As médias dos parâmetros avaliados foram submetidas aos testes de homocedasticidade (Levene), de normalidade (Shapiro-Wilks) e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade utilizando o software Statistica 7.0® (Statsoft, Tulsa, OK, USA) sendo os valores expressos como média \pm desvio padrão. Quando constatadas diferenças significativas entre as médias ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey. Também foi realizada análise de regressão para determinar a relação entre os tratamentos.

3. Resultados

As médias obtidas para os parâmetros de peso inicial, peso final, ganho de peso, comprimento total, comprimento de cabeça, altura corporal e sobrevivência de jundiás alimentados com dietas contendo níveis crescentes de glicerol bruto em substituição ao milho estão apresentadas na Tabela 3. Pode-se observar que nenhum dos parâmetros foi influenciado ($p > 0,05$) pelos tratamentos.

Tabela 3. Parâmetros morfométricos de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto.

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Peso inicial (g)	189,56±5,18	187,80±2,65	189,14±2,52	188,72±1,46	187,30±2,98	191,00±3,09	0,62
Peso final (g)	451,67±35,79	501,29±28,26	488,86±9,21	520,31±95,25	541,43±88,54	509,34±66,45	0,52
Ganho de peso (g)	240,81±61,73	313,74±29,79	298,93±8,29	331,59±94,81	352,19±90,42	320,46±69,27	0,23
Comprimento total (cm)	32,03±1,66	33,75±0,29	33,79±1,05	34,22±1,65	34,33±1,45	33,98±0,89	0,10
Comprimento de cabeça (cm)	7,06±0,58	7,31±0,26	7,38±0,13	7,36±0,37	7,43±0,44	7,15±0,17	0,63
Altura (cm)	4,74±0,61	5,26±0,09	5,16±0,14	5,09±0,82	5,50±0,91	5,28±0,62	0,58
Sobrevivência (%)	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	92,00±17,89	100,00±0,00	0,44

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O comprimento padrão e a largura dos jundiás submetidos a dietas com níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão apresentados respectivamente nas Figuras 1 e 2. Houve um aumento linear ($p < 0,05$) do comprimento padrão em resposta à substituição do milho das dietas pelo glicerol. A largura dos jundiás apresentou um efeito quadrático com o aumento da substituição do milho pelo glicerol nas dietas, com um ponto de máxima em 88,75% de substituição (correspondente a 6,65% de inclusão do glicerol nas dietas).

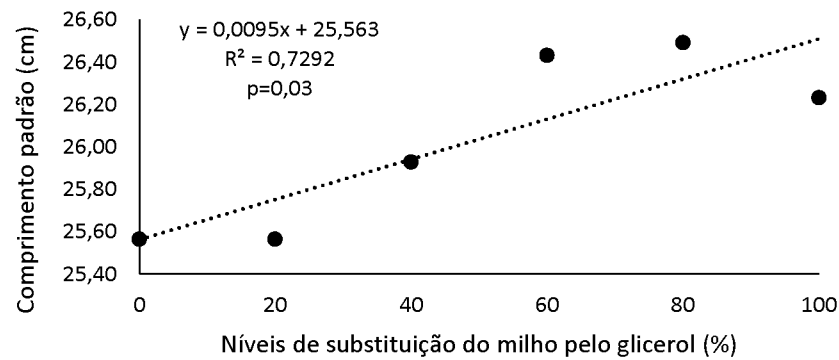


Figura 1. Efeito da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre o comprimento padrão do jundiá (*Rhamdia quelen*).

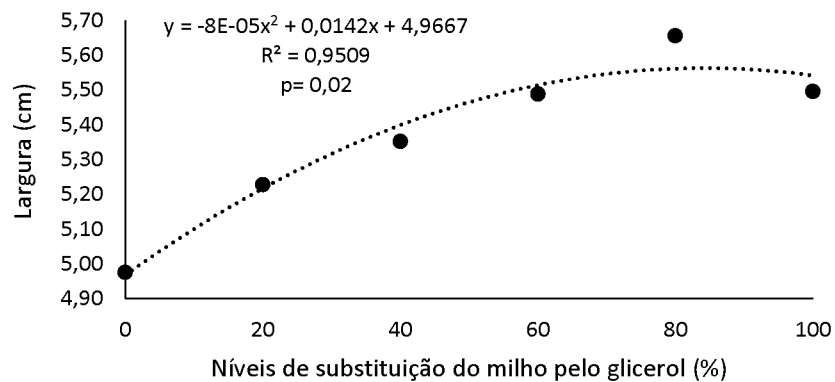


Figura 2. Efeito da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre a largura do jundiá (*Rhamdia quelen*).

Os valores médios dos parâmetros de rendimento de carcaça, rendimento de filé, biomassa, gordura visceral, índice gonadossomático, conversão alimentar aparente, fator de condição e taxa de crescimento específico dos jundiás submetidos a dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão descritos na Tabela 4. O rendimento do filé foi influenciado ($p < 0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol, sendo que o tratamento de 80% de substituição apresentou melhor rendimento de filé, enquanto o tratamento de 20% apresentou o menor rendimento e os demais tratamentos foram semelhantes entre si. Os parâmetros de rendimento de carcaça, biomassa, gordura visceral, índice gonadossomático, conversão alimentar aparente, fator de condição e taxa de crescimento específico dos jundiás não foram afetados ($p > 0,05$) pelos tratamentos.

Tabela 4. Parâmetros de desempenho zootécnico de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Rendimento de carcaça (%)	52,23±0,75	51,46±0,98	52,93±1,58	52,52±0,99	54,08±1,58	52,60±2,58	0,36
Rendimento de filé (%)	42,88 ±1,52 ^{ab}	42,40±0,48 ^b	44,56±1,07 ^{ab}	44,83±2,18 ^{ab}	46,04±1,45 ^a	43,67±1,98 ^{ab}	0,03
Biomassa (kg)	2,26±0,18	2,51±0,14	2,44±0,05	2,60±0,48	2,51±0,72	2,55±0,33	0,87
Gordura visceral (%)	7,59±2,12	4,72±1,53	7,88±3,71	6,31±3,05	7,70±3,56	3,14±2,63	0,26
Índice gonadossomático (%)	1,94±0,74	3,27±1,91	2,32±1,11	1,64±0,04	1,72±1,41	4,22±1,95	0,25
Índice hepatossomático (%)	1,10±0,06	1,20±0,10	1,31±0,04	1,38±0,25	1,54±0,33	1,40±0,07	0,06
Conversão alimentar aparente (%)	3,00±0,37	2,88±0,50	2,59±0,06	2,74±0,32	2,40±0,31	2,62±0,61	0,52
Fator de condição	1,25±0,05	1,28±0,08	1,30±0,10	1,28±0,10	1,34±0,06	1,29±0,09	0,31
Eficiência alimentar	33,62±4,14	35,43±5,50	38,66±0,94	36,42±5,09	42,22±5,40	39,70±8,12	0,51
Taxa de eficiência proteica	0,97±0,12	1,03±0,16	1,12±0,03	1,05±0,15	1,22±0,16	1,14±0,23	0,50
Taxa de crescimento específico (%/dia)	0,43±0,05	0,47±0,03	0,46±0,01	0,46±0,06	0,52±0,08	0,47±0,07	0,54

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O índice hepatossomático, a eficiência alimentar e a taxa de eficiência proteica dos jundiás submetidos a dietas com níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão apresentados respectivamente nas Figuras 3 a 5. Os referidos parâmetros apresentaram um aumento linear ($p<0,05$) conforme o milho foi sendo substituído pelo glicerol nas dietas experimentais.

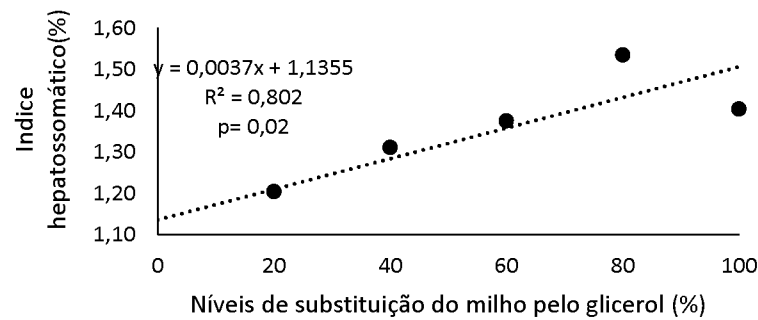


Figura 3. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre o índice hepatossomático de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*).

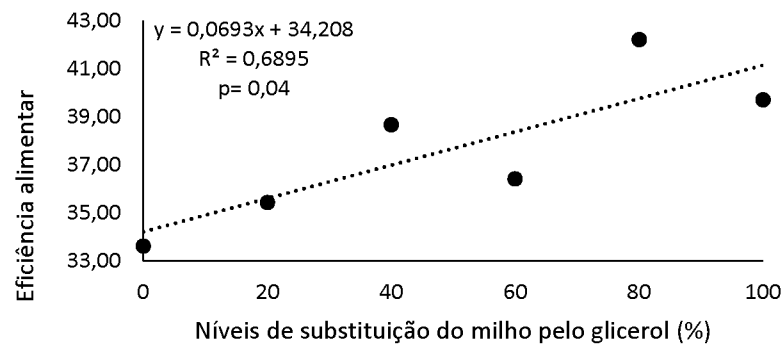


Figura 4. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre a eficiência alimentar de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*).

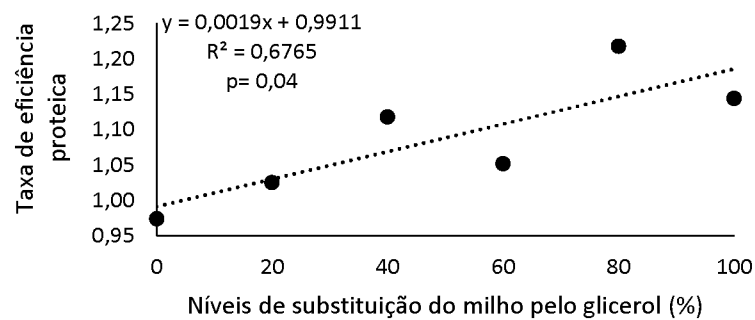


Figura 5. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre a taxa de eficiência proteica de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*).

Os valores médios dos parâmetros sanguíneos, cálcio, colesterol, fosfatase alcalina, glicose, proteínas totais, transaminase glutâmica oxalacética e pirúvica dos jundiás submetidos a dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão descritos na Tabela 5. Os níveis de glicose sanguínea foram influenciados ($p < 0,05$) pelos tratamentos, os níveis de 0, 40 e 80% de substituição do milho pelo glicerol foram menores que o tratamento com 60% e os demais tratamentos apresentaram valores intermediários. Os níveis de transaminase glutâmica pirúvica foram influenciados pelos tratamentos ($p < 0,05$), o tratamento que apresentou o maior nível deste parâmetro foi o de 40% de substituição do milho pelo glicerol, enquanto o de 80% apresentou o menor valor, os demais tratamentos apresentaram valores intermediários.

Tabela 5 Parâmetros sanguíneos de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						p-value
	0	20	40	60	80	100	
Cálcio	14,22±0,41	13,49±0,93	13,26±0,96	12,92±0,18	13,05±0,90	14,40±0,89	0,05
Colesterol	194,28±32,26	196,90±23,77	248,35±23,01	219,81±38,72	210,51±54,46	213,66±32,78	0,31
Fosfatase alcalina	123,83±8,64	111,30±64,43	138,62±15,10	141,00±28,04	146,01±7,04	134,85±30,91	0,64
Glicose	62,61±2,71 ^a	74,53±8,94 ^{ab}	68,03±4,95 ^a	84,85±10,31 ^b	67,28±7,15 ^a	75,10±10,00 ^{ab}	0,01
Proteínas totais	3,60±0,91	3,15±0,85	3,67±1,18	3,65±0,76	3,64±1,00	3,92±0,83	0,87
Triglicerídeos	591,92±53,27	604,15±149,50	743,79±206,32	731,59±145,13	770,14±169,64	793,31±232,17	0,30
Transaminase glutâmica oxalacética	66,12±40,69	98,09±46,86	105,93±27,01	73,77±21,77	80,48±32,61	98,06±35,39	0,51
Transaminase glutâmica pirúvica	17,74±10,97 ^{ab}	24,43±10,17 ^{ab}	36,85±20,41 ^b	16,52±5,83 ^{ab}	14,15±4,13 ^a	20,89±9,07 ^{ab}	0,04

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O nível plasmático de triglicerídeos dos jundiás submetidos a dietas com níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto está apresentado na Figura 06. O referido parâmetro apresentou um aumento linear ($p < 0,05$) conforme o milho foi sendo substituído pelo glicerol nas dietas experimentais.

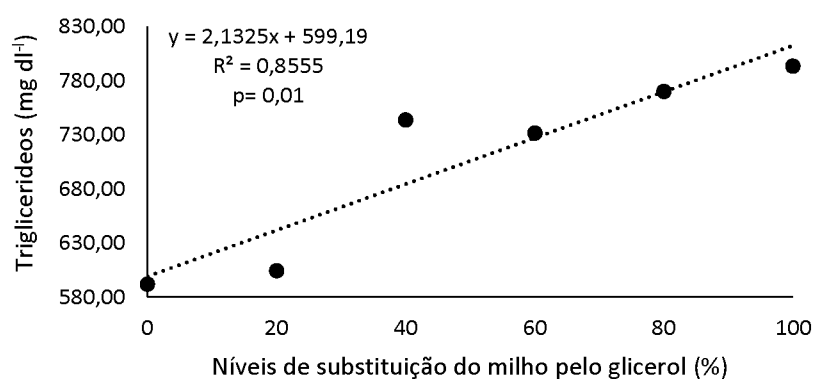


Figura 6. Efeito linear da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre os níveis sanguíneos de triglicerídeos de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*).

Os valores médios dos parâmetros de composição química das carcaças e dos filés dos jundiás submetidos a dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto estão descritos na Tabela 6. Os valores de umidade, matéria seca, extrato etéreo, matéria mineral e proteína bruta das carcaças dos jundiás, não foram influenciados ($p > 0,05$) pela substituição do milho pelo glicerol bruto.

Os valores de umidade, matéria seca, extrato etéreo e matéria mineral dos filés dos jundiás não foram influenciados ($p < 0,05$) pelos níveis crescentes de substituição do milho pelo glicerol bruto nas dietas. A proteína bruta dos filés dos jundiás foi influenciada pelos tratamentos, onde o maior valor foi aferido no tratamento com 100% de substituição do milho pelo alimento teste, o menor valor foi verificado no tratamento com 40% e os demais tratamentos apresentaram valores intermediários.

Tabela 6 Composição química da carcaça de adultos de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com níveis crescentes de glicerol bruto na dieta.

Variáveis	Dietas (% de substituição do milho pelo glicerol)						<i>p-value</i>
	0	20	40	60	80	100	
Carcaça							
Umidade	69,37±2,64	69,03±0,40	70,75±0,35	71,92±1,17	69,73±2,12	68,44±3,21	0,21
Matéria seca	30,63±2,64	30,97±1,57	29,25±1,33	28,08±0,90	30,27±0,44	31,56±0,34	0,21
Extrato etéreo	8,63±1,70	9,24±0,28	8,62±1,37	6,93±1,53	8,77±2,09	9,68±2,49	0,26
Matéria mineral	3,29±0,40	3,10±0,02	3,08±0,12	3,11±0,28	3,22±0,15	3,09±0,34	0,76
Proteína bruta	15,81±0,66	16,56±0,16	16,12±0,99	15,46±1,22	16,38±1,02	15,70±0,73	0,53
Filé							
Umidade	72,13±1,53	73,54±2,58	71,04±1,22	72,11±2,06	71,08±3,75	73,41±0,96	0,34
Matéria seca	27,87±1,37	26,46±2,31	28,96±1,10	27,89±1,84	28,92±3,35	26,59±0,86	0,34
Extrato etéreo	11,40±1,26	8,80±3,15	11,45±0,67	9,53±2,98	10,70±4,21	7,85±1,16	0,33
Matéria mineral	1,12±0,04	1,10±0,05	1,12±0,06	1,05±0,04	1,10±0,08	1,15±0,02	0,21
Proteína bruta	16,28±0,14 ^{ab}	16,11±0,08 ^{ab}	15,96±0,20 ^a	16,15±0,07 ^{ab}	16,11±0,09 ^{ab}	16,49±0,44 ^b	0,03

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4. Discussão

A substituição total do milho pelo glicerol bruto (7,5% de inclusão do glicerol) não afetou os parâmetros morfométricos e de desempenho produtivo de jundiás adultos, corroborando com os resultados obtidos para outras espécies de peixes, além de melhorar o rendimento de filé dos mesmos. Li et al. 2010, verificaram que a inclusão de glicerol, em até 10%, na dieta do bagre do canal (*Ictalurus punctatus*), não apresentou efeitos adversos no consumo de ração, ganho de peso, eficiência alimentar e índice hepatossomático.

Não foram observados efeitos adversos da substituição do glicerol bruto pelo milho no desempenho e sobrevivência de jundiás (25 a 200 g) machos reprodutores (Bombardelli et al., 2021). Theisen et al. 2019, afirmam que o glicerol bruto pode ser adicionado na dieta de pós-larvas de *R. voulezi* e *R. Branneri* em até 8,8% sem afetar o desempenho dos peixes, além de ser utilizado como ingrediente alternativo na dieta de espécies do gênero *Rhamdia*, podendo proporcionar uma redução de gastos na alimentação destes peixes.

De modo semelhante, Santos et al. 2019, não verificaram efeito negativo da substituição do milho pelo glicerol bruto sobre o desempenho produtivo da tilápia do Nilo na fase de engorda. Bem como para a fase de reversão sexual da tilápia do Nilo, onde houve a substituição total do milho, com inclusão de até 11% do glicerol nas dietas sem decréscimo do desempenho ou aumento da mortalidade (Meurer et al., 2016).

Estes resultados demonstram que o glicerol bruto derivado da produção de biodiesel pode ser utilizado como ingrediente alternativo, em substituição ao milho, para jundiá na fase de engorda, pois estes animais não apresentaram problemas quando da utilização deste ingrediente de forma alternativa (Meurer et al., 2000).

O glicerol pode utilizar diferentes vias metabólicas, é absorvido no intestino, cai na corrente sanguínea e é absorvido e metabolizado pelo fígado e outros tecidos para a síntese de glicose (via gliconeogênese), produção de energia (via glicólise e ciclo do ácido cítrico) (Costa et al., 2017), ou competir efetivamente com outros precursores gliconeogênicos endógenos e, consequentemente, poupar o catabolismo de aminoácidos

dietéticos e a geração de resíduos nitrogenados, deixando-os mais disponíveis para outras funções fisiológicas, como o crescimento (Rito et al., 2019).

Índices produtivos como a conversão alimentar aparente, fator de condição e taxa de crescimento específico também não foram influenciados pela substituição do milho pelo glicerol, o que pode ser explicado pelo fato do glicerol apresentar valores de energia digestível de 3.332 kcal/kg (Balén et al., 2014) para o jundiá, superior ao encontrado para outros ingredientes energéticos como o milho 2.297 kcal/kg, bem como para quirera de arroz 2.455 kcal/kg (Oliveira Filho e Fracalossi, 2006), farelo de trigo 1.519 kcal/kg (Rodrigues et al., 2012) e resíduo de mandioca 1.533 kcal/kg (Gominho-Rosa et al., 2015).

Quanto aos parâmetros sanguíneos analisados, com exceção dos níveis de glicose plasmática e transaminase glutâmica pirúvica, todos estavam dentro dos valores ideais para a espécie (Borges et al., 2004), entretanto, foram afetados pelos tratamentos. De acordo com Balén et al., 2017, é possível que o glicerol presente na dieta não tenha sido convertido em glicose nem em triglicerídeos, mas direcionado para o ciclo de Krebs, constituindo-se, efetivamente, em fonte de energia dietética para estes animais, o que levou ao aumento da glicose sanguínea. Entretanto, outros carboidratos, como amido e outros nutrientes também influenciam os níveis de glicose na circulação sanguínea (Costa et al., 2015).

O aumento dos níveis de glicerol e, consequentemente, a diminuição do milho em dietas de jundiá na fase de engorda proporcionou o aumento da deposição de proteína bruta no filé desses animais, o que também foi observado por Gonçalves et al. 2015, que avaliaram a utilização do glicerol bruto como fonte de energia na dieta da tilápia do Nilo e observaram que a inclusão de 16% de glicerol na dieta destes animais proporcionou maior deposição de proteína. O glicerol da dieta tem a capacidade de poupar aminoácidos glicogênicos ao inibir a atividade de enzimas, como a glutamato desidrogenase, promovendo assim a deposição de proteínas nos tecidos musculares (Bernardino et al., 2014). De forma semelhante, Silva et al. 2012, verificaram que a inclusão de 5% de glicerol na dieta de *Sparus aurata* melhorou significativamente a deposição de proteínas no filé, melhorando o estado energético do músculo desses peixes, sugerindo que os peixes são capazes de lidar metabolicamente de maneira adequada com a substituição parcial de carboidratos/amido típicos da dieta por glicerol como substância geradora de energia.

Sendo assim, pode-se afirmar que a substituição do milho pelo glicerol na dieta de jundiás na fase de engorda é uma prática segura, pois não afetou parâmetros de desempenho produtivo bem como a saúde dos animais. A possibilidade de substituição do milho na dieta de peixes onívoros, muito comum no Brasil, assim como em outras partes do mundo, é bastante importante. Em primeiro lugar, porque o milho é usado para humanos, reduzindo assim a competição por esse alimento na produção animal, e, em segundo lugar, relacionado à redução dos custos com alimentação dos peixes, visto que substituí-lo por um ingrediente mais barato, seria vantajoso (Mauerwerk et al., 2020).

Também é importante ressaltar a importância da utilização de ingredientes alternativos para tornar a aquicultura uma atividade mais sustentável e econômica (Santos et al., 2019). Visto que com a produção de etanol combustível de milho, seus preços aumentaram, portanto, substituí-lo por um ingrediente mais barato pode evitar aumentos nos custos com a alimentação dos peixes (Mauerwerk et al., 2020). Entretanto, para que o glicerol bruto seja uma alternativa viável para as indústrias que produzem rações aquícolas, é necessário regulamentar a sua produção e padronizar a sua qualidade, para garantir a segurança dos alimentos, o bem-estar animal e a produtividade aquícola (Santos et al., 2019).

5. Conclusão

O glicerol bruto, derivado da fabricação do biodiesel, é um alimento alternativo adequado como fonte energética para o jundiá (*Rhamdia quelen*) na fase de engorda, pois pode substituir o milho em até 100% ou ser incluído em até 20 % nas suas dietas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e financiado pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico através do Programa de Apoio a Núcleos Emergentes – PRONEM (23/2012). Fábio Meurer

agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa nível 2 e Izabel Volkweis Zadinelo agradece pela bolsa de pós-doutorado CAPES código de financiamento 001.

Referências

- American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^o ed. Washington, 2005.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC) (1995) Official methods of analysis of AOAC international, 16th edn. AOAC Inc., Arlington, VA.
- Balen, R.E., Tetu, P.N., Bombardelli, R.A., Pozza, P.C., Meurer, F., 2014. Digestible energy of crude glycerol for pacu and silver catfish. *Ciência Rural* 44, 1448–1451. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131426>
- Balen, R.E., Bueno Junior, G., Colpini, L.M.S., Bombardelli, R.A., da Silva, L.C.R., Meurer, F., 2017. Energia digestível e inclusão da glicerina bruta em dietas para juvenis de curimatã. *Bol. do Inst. Pesca* 43, 347–357. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p347>
- Bernardino, V.M.P., Rodrigues, P.B., Paula Naves, L., Zangeronimo, M.G., Alvarenga, R.R., Rosa, P. V., Santos, L.M., Teixeira, L. V., 2014. Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 98, 559–568. <https://doi.org/10.1111/jpn.12113>
- Bombardelli, R.A., Oliveira, E.J., Syperreck, M.A., Pedreira, A.C.O., Freitas, J.M.A., Marques, A.E.M.L., Cestari, M.M., Meurer, F., 2021. Silver catfish (*Rhamdia quelen*) breeders fed on crude glycerin-containing diets exhibited metabolic alterations and increased sperm concentration. *Aquaculture*, 530, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735724>.
- Braun, N., Lima, R.L. de, Moraes, B., Loro, V.L., Baldisserotto, B., 2006. Survival, growth and biochemical parameters of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824), juveniles exposed to different dissolved oxygen levels. *Aquac. Res.* 37, 1524–1531. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01589.x>
- Costa, D.V. da, Paulino, R.R., Okamura, D., De Oliveira, M.M., E Rosa, P.V., 2015. Growth and energy metabolism of Nile tilapia juveniles fed glycerol. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 50, 347–354. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500001>
- Costa, D.V., Dias, J., Colen, R., Rosa, P.V., Engrola, S., 2017. Partition and metabolic fate of dietary glycerol in muscles and liver of juvenile tilapia. *Arch. Anim. Nutr.* 71, 165–174. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1281579>
- Cunha, M.A. da, Zeppenfeld, C.C., Garcia, L. de O., Loro, V.L., da Fonseca, M.B., Emanuelli, T., Veeck, A.P. de L., Copattia, C.E., Baldisserotto, B., 2010. Anesthesia of silver catfish with eugenol: Time of induction, cortisol response and sensory analysis of fillet. *Cienc. Rural* 40, 2107–2114. <https://doi.org/10.1590/s0103->

84782010005000154

- Dalcin, M.O., Pianesso, D., Silva, V.C., Mombach, P.I., Adorian, T.J., Lima, J.S., Goulart, F.R., Silva, L.P., 2018. Concentrado proteico de arroz na alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec. 70, 306–314. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9730>
- Decarli, J.A., Pedron, F.A., Lazzari, R., Signor, A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2016. Hidrolisados proteicos na alimentação do jundiá (*Rhamdia voulezi*). Rev. Bras. Ciência Veterinária 23, 168–173. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2016.051>
- FAO 2017, The future of food and agriculture: Trends and challenges. Rome, 2017.
- FAO. 2020., 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Fernandes, D.R.A., Yamashiro, D., Erzen, J., Bittencourt, F., Boscolo, W.R., Neu, D.H., 2016. Glycerol in the diet of common carp larvae (*Cyprinus carpio*) Dihego. Uniciências 20, 11–15.
- Fracalossi, D.M., Meyer, G., Santamaria, F.M., Weingartner, M., Zaniboni Filho, E., 2004. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. Acta Sci. Anim. Sci. 26, 345–352. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v26i3.1806>
- Gomes, L. de C., Golombieski, J.I., Gomes, A.R.C., Baldisserotto, B., 2000. Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae). Ciência Rural 30, 179–185. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782000000100029>
- Gominho-Rosa, M. do C., Rodrigues, A.P.O., Mattioni, B., de Francisco, A., Moraes, G., Fracalossi, D.M., 2015. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: Digestibility, enzyme activity and starch microstructure. Aquaculture 435, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.035>
- Gonçalves, L.U., Cerozi, B. da S., Silva, T.S.C., Zanon, R.B., Cyrino, J.E.P., 2015. Crude glycerin as dietary energy source for Nile tilapia. Aquaculture 437, 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.004>
- Grigio, R., Meurer, F., 2020. Alternating Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and silver catfish (*Rhamdia quelen*) farming in recirculation system: A possibility for aquaculture in Southern Brazil. J. Dev. 6, 4303–4308. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-057>
- Grigio, R., Silva, L.C.R. da, Mauerwerk, M.T., Colpini, L.M.S., Zanella Júnior, M.C., Meurer, F., 2020. Products and co-products of alternating farming of Nile tilapia with jundia. Brazilian J. Anim. Environ. Res. 3, 1679–1696. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-085>
- Li, M.H., Minchew, C.D., Oberle, D.F., Robinson, E.H., 2010. Evaluation of glycerol from biodiesel production as a feed ingredient for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. J. World Aquac. Soc. 41, 130–136. <https://doi.org/10.1111/j.1749->

7345.2009.00320.x

- Ministério da Pesca e Aquicultura, Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura, 2011. REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL Presidenta Dilma Vana Rousseff. Bol. Estatístico Da Pesca E Aquicultura 2011 1–60.
- Mauerwerk, M.T., Zadinelo, I.V., Meurer, F., 2020. Use of glycerol in fish nutrition : a review. *Rev. Aquac.* 1–9. <https://doi.org/10.1111/raq.12502>
- Meurer, F., Hayashi, C., Soares, C.M., Boscolo, W.R., 2000. Utilização de levedura spray dried na alimentação de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). *Acta Scientiarum* 22(2):479-484. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v22i0.2995>
- Meurer, F., Franzen, A., Piovesan, P., Rossato, K.A., Santos, L.D. Dos, 2012. Apparent energy digestibility of glycerol from biodiesel production for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquac. Res.* 43, 1734–1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02974.x>
- Meurer, F., Tovo Neto, A., da Silva, L.C.R., Cagol, L., Theisen, M.T., dos Santos, L.D., 2016. Crude glycerol in diets for Nile tilapia sex reversal (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Aquac. Res.* 47, 2682–2685. <https://doi.org/10.1111/are.12714>
- Moesch, A., Meurer, F., Zadinelo, I.V., Carneiro, W.F., Silva, L.C.R. da, Santos, L.D. dos, 2016. Growth, body composition and hepatopancreas morphology of Nile tilapia fingerlings fed crude glycerol as a replacement for maize in diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 219, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.009>
- Neu, D.H., Furuya, Wilson Massamitu Yamashiro, D., Bittencourt, F., Moro, E.B., Fernandes, D.R.A., Boscolo, W.R., Feiden, A., 2012. Glycerol in the diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Rev. Agrar.* 4, 288–294.
- Oliveira Filho, P.R.C. De, Fracalossi, D.M., 2006. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients for jundiá juveniles. *Rev. Bras. Zootec.* 35, 1581–1587.
- Rito, J., Viegas, I., Pardal, M., Metón, I., Baanante, I. V., Jones, J.G., 2019. Utilization of glycerol for endogenous glucose and glycogen synthesis in seabass (*Dicentrarchus labrax*): A potential mechanism for sparing amino acid catabolism in carnivorous fish. *Aquaculture* 498, 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.066>
- Rodrigues, A.P.O., Gominho-Rosa, M.D.C., Cargnin-Ferreira, E., de Francisco, A., Fracalossi, D.M., 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Nutr.* 18, 65–72. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x>
- Salhi, M., Bessonart, M., 2011. Growth, survival and fatty acid composition of *Rhamdia quelen* (Quoy and Gaimard, 1824) larvae fed on artificial diet alone or in combination with *Artemia* nauplii. *Aquac. Res.* 44, 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03004.x>
- Santos, H.K. dos, Meurer, F., 2018. Nutrition and Feeding Aspects for Jundiá (*Rhamdia quelen*). *Rev. Aquac.* 12, 1–11. <https://doi.org/10.1111/raq.12318>

- Santos, L.D. dos, Zadinelo, I.V., Moesch, A., Bombardelli, R.A., Meurer, F., 2019. Crude glycerol in diets for Nile tilapia in the fattening stage. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 54, 1–10. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2019.V54.00460>
- Schulter, E.P., Filho, J.E.R.V., 2017. Evolução da piscicultura no Brasil: Diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. *Inst. Pesqui. Econômica Apl. - ipea* 42.
- Silva, T.S., Matos, E., Cordeiro, O.D., Colen, R., Wulff, T., Sampaio, E., Sousa, V., Valente, L.M.P., Gonçalves, A., Silva, J.M.G., Bandarra, N., Nunes, M.L., Dinis, M.T., Dias, J., Jessen, F., Rodrigues, P.M., 2012. Dietary tools to modulate glycogen storage in gilthead seabream muscle: Glycerol supplementation. *J. Agric. Food Chem.* 60, 10613–10624. <https://doi.org/10.1021/jf3023244>
- Theisen, M.T., Bombardelli, R.A., Meurer, F., Ferreira, R.L., da Silva, L.C.R., 2019. Crude glycerol inclusion in diets for post-larvae *Rhamdia voulezi* and *Rhamdia branneri*. *Aquac. Res.* 51, 1313–1316. <https://doi.org/10.1111/are.14465>
- Tusche, K., Arning, S., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 2012. Wheat gluten and potato protein concentrate - Promising protein sources for organic farming of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 344–349, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.009>
- Vieira Filho, J.E.R., Fishlow, A., 2017. Agricultura e Indústria no Brasil: inovação e competitividade, Ipea.
- Weiler, K.A., Pessini, J.E., Sanchez, M.S.S., Rodrigues, M.L., Boscolo, W.R., Pezzato, L.E., Bittencourt, F., Signor, A., 2019. Sunflower meal with and without phytase supplementation in diets for silver catfish (*Rhamdia quelen*) juveniles. *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.* 32, 285–297. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v32n4a04>
- Yang, F., Hanna, M.A., Sun, R., 2012. Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production. *Biotechnol. Biofuels* 5, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-13>

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é um país com grande potencial de produção de pescado devido as suas características naturais e disponibilidade de água, destacando-se em um momento em que o consumo de peixes teve considerável aumento. Neste sentido, destaca-se a necessidade do incentivo à produção de espécies nativas, que causam menor impacto ambiental e que tenham potencial produtivo, como é o caso do jundiá, uma espécie com bom crescimento mesmo em meses de frio, adaptado as características climáticas do sul do Brasil, Argentina e Uruguai, de fácil manejo e que aceita bem dietas formuladas.

Com o aumento da produção aquícola, a necessidade de um sistema de produção cada vez mais sustentável, que utilize ingredientes alternativos na alimentação dos peixes, em substituição a farinha de peixe e as *commodities* (soja e milho), que também são utilizados na alimentação humana e de outros animais, visando menores impactos ambientais, diminuição de custos com a alimentação e melhor desempenho produtivo aos peixes, está em constante busca.

O glicerol bruto, um co-produto derivado da produção de biodiesel, é um ingrediente alternativo que foi utilizado com sucesso na alimentação de suínos, aves e algumas espécies de peixes, como a tilápia, o curimbatá, a carpa e o bagre-do-canal e também pode ser utilizado como ingrediente energético, em substituição ao milho, na alimentação do jundiá, nas diferentes fases de crescimento (alevinos, juvenis e engorda).

A absorção e o aproveitamento do glicerol bruto podem ocorrer em diferentes rotas metabólicas e é capaz de suprir parte da necessidade energética do jundiá nas diferentes fases de crescimento, antes suprido principalmente pelo milho.

O glicerol bruto derivado da produção do biodiesel pode substituir até 100% do milho na dieta do jundiá, em todas as fases de crescimento, sem afetar parâmetros produtivos, composição química da carcaça e filé e parâmetros sanguíneos desses animais, sendo que, em alguns casos, promoveu a melhora de alguns dos principais parâmetros produtivos, como ganho de peso, produção de tronco limpo, rendimento de carcaça, rendimento de filé e deposição de proteína no filé.

Sendo assim, a utilização do glicerol bruto na alimentação animal é viável e segura, quando respeitando as exigências nutricionais das diferentes espécie utilizando-se rações balanceadas e que respeitem os níveis de substituição que cada espécie tolera. Para o jundiá, o nível de inclusão indicado na dieta é de até 7,5%.

A inclusão deste ingrediente na dieta de peixes e de outros animais pode ser economicamente viável, dependendo do preço das *commodities*, em especial, o milho, além de ser um ingrediente disponível durante todo o ano e em praticamente todo o país, o que é muito importante para que um ingrediente seja viável para ser utilizado na fabricação de rações.

Em conclusão, os resultados obtidos no desenvolvimento desta tese demonstram o potencial produtivo de uma espécie nativa que tem chamado a atenção de diversos produtores da região sul do país, o que deve ser incentivado para mitigar impactos sobre o ambiente natural, causados na produção de espécies exóticas. Além disso, também demonstra o potencial de utilização de um ingrediente alternativo, que é um resíduo da indústria de produção de biodiesel, o que contribui com a diminuição de possíveis impactos ambientais causados com a má utilização de resíduos, além de poder contribuir com a diminuição do custo da alimentação no sistema produtivo, tornando a produção aquícola econômica e ambientalmente cada vez mais sustentável.